Der Einfluß von Aluminiumsalzen auf das Protoplasma.

Von **Max Fluri.**

Einleitung.

Von der Frage ausgehend, welchen Anteil die Blattnerven an den Reizkrümmungen der Lamina haben, fand ich bei mannigfachen Versuchen über die Entfernung der Statolithenstärke eigenartige Wirkungen des Aluminiumsulfates auf das Protoplasma. Ich wendete diesen Erscheinungen meine Aufmerksamkeit zu und gelangte zu Resultaten, die einen in seiner Tragweite einstweilen kaum abzuschätzenden Beitrag zu dem Problem der Permeabilität des Protoplasmas liefern.

Die Aschenanalysen wären in erster Linie geeignet, uns über die Aufnahmefähigkeit der Pflanzen für die Aluminiumsalze Auskunft zu geben. Die botanische Literatur weist jedoch solche Aluminiumangaben nur für einen verhältnismäßig kleinen Teil der Pflanzen auf, sei es, daß Aluminiumverbindungen nicht nachweisbar waren oder daß überhaupt auf die Ermittelung dieser Stoffe kein Gewicht gelegt wurde.

Eine Zusammenstellung von Analysen, bei denen das Aluminium berücksichtigt wurde, findet man bereits in Wolfs „Aschenanalysen". Noch reicheren Aufschluß bietet uns „The occurence of aluminium in vegetable products, animal products and natural waters" von Langworthly and Austen.

Zu den aluminiumreichen Pflanzen, den Aluminiumpflanzen, gehören die meisten Lycopodien (L. clavatum: 27 % Aluminium, L. Chamaecyparissus: 52 %), dann die in Brasilien einheimische Symplocos lanceolata, bei welcher die Hälfte der Blattasche aus Tonerde besteht (Radlkofer, pag. 216), Orites excelsa (36—45 % Al im Holz), viele Flechten, z. B. Variolaria deabata 8 % und Cetraria islandica 4 %, endlich noch einige Laubmoose, z. B. Torfmoos bis 6 %.

Bei andern Pflanzen bzw. pflanzlichen Objekten sinkt der Aluminiumgehalt auf 1 % der Asche und noch tiefer.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß man fernerhin auch noch bei anderen Pflanzen auf Aluminium stößt. Trotzdem muß aber die Anwesenheit des Aluminiums in den Pflanzen als eine Ausnahme betrachtet werden.

Diese Tatsache fällt auf im Hinblick auf die allgemeine Verbreitung des Aluminiums in den gewöhnlichen Böden und natürlichen Gewässern.

Das „Deutsche Bäderbuch“ gestattet uns durch seine Zusammenstellung von Analysen der wichtigsten Mineralquellen Deutschlands einen weiten Blick über das Vorkommen des Aluminiums in den natürlichen Gewässern. Allerdings weist ein großer Teil der Analysen keine Angaben über den Gehalt an Aluminium auf; wahrscheinlich hat in vielen Fällen die chemische Untersuchung keine Rücksicht auf das Aluminium genommen. In den meisten Quellen ist aber Aluminium gefunden worden, entweder bloß in Spuren oder in nachweisbaren Mengen.

Wie die folgenden Angaben zeigen, schwankt der Aluminiumgehalt zwischen ziemlich weiten Grenzen, immerhin ist die relative Quantität des Aluminiums auch an der oberen Grenze noch klein.

Das Mineralwasser der unten verzeichneten Quellen entspricht in seiner Zusammensetzung ungefähr einer Lösung, die in 1 kg nebst anderer hier nicht interessierender Stoffe noch enthält:

Gelnhausen, Sprudel 4	0,115 g $Al_2(SO_4)_3$
Kreuznach (Coblenz)	
1. Elisabethquelle	0,000026 g $AlCl_3$
„	0,000403 g $Al_2(HPO_4)_3$
2. Theodorshalle	0,01808 g $AlCl_3$
„	0,04563 g $Al_2(HPO_4)_3$
Säckingen „Schwächere Quelle“	0,000919 g $Al_2(SO_4)_3$
„ „ „	0,0017 g $Al_2(HPO_4)_3$

Die übrigen Quellen von Säckingen enthalten nur Spuren von Aluminium.

Suderode (Magdeburg)	0,3253 g $AlCl_3$
Heilbronn (Oberbayern)	0,0034 g $Al_2(SO_4)_3$

Nach einer Mitteilung von Herrn Professor Dr. H. Kreis enthält das Quellwasser von Montreux 1,5 mg Al_2O_3 in 10 l.

Die Quellwasseranalysen berechtigen uns zu der Annahme, daß die Aluminiumsalze im Bodenwasser nur in sehr schwachen Konzentrationen vorkommen.

Obschon man sich schon vielfach mit dem merkwürdigen Verhalten der Pflanzen gegenüber dem Aluminium beschäftigte, ist man doch bis in die jüngste Zeit zu keinem entscheidenden Ergebnis gelangt.

Vor kurzem trat auch Professor Rothert in einläßlicher Weise an diese Frage heran.

Aus seinem im Jahre 1906 erschienenen vorläufigen Bericht erfahren wir, daß sämtliche untersuchte Pflanzen Aluminium aufnehmen, wenn es ihnen in gelöster Form geboten wird. Er hat ferner fest-

gestellt, daß die Pflanzen für Aluminium auch extrameabel sind. Allerdings scheint die Extrameabilität bedeutend geringer zu sein als die Intrameabilität.

Die Ursache für die Abwesenheit des Aluminiums in der großen Mehrzahl der Pflanzen liegt nach Rothert in dem Umstande, daß die den Pflanzen zugänglichen Aluminiumsalze (Sulfat, Chlorid, Phosphat) im Boden und in den Gewässern nur in geringen Mengen vorhanden sind.

Meine Untersuchungen über den Einfluß der Aluminiumsalze auf das Protoplasma wurden im Winter 1905/06, einige Monate vor der Veröffentlichung des Rothertschen Berichtes begonnen. Sie wurden im botanischen Institut der Universität Basel unter der Leitung des Herrn Professor Dr. A. Fischer ausgeführt. Ich spreche an dieser Stelle dem hochgeehrten Lehrer meinen verbindlichsten Dank aus für seine wertvollen Ratschläge und die wirksame Förderung meiner Arbeit.

Die beobachteten Wirkungen der Aluminiumsalze zerfallen in zwei Abteilungen. Der erste Teil umfaßt die Entstärkung der Spirogyren im Licht. Im zweiten Abschnitt werden die Änderungen der Permeabilität des Protoplasmas verschiedener Pflanzen festgestellt.

I. Entstärkung der Spirogyra mit Aluminiumsalzen im Licht.

Die Spirogyren wurden vor der Verwendung in destilliertem Wasser von den anhaftenden mineralischen bzw. verwesenden organischen Substanzen befreit. Ausnahmsweise kultivierte ich sie in 0,2 %iger Knopscher Nährlösung. Auf die Kultur einer speziellen Art legte ich keinen Wert, da es für meinen Zweck nur von Vorteil war, das Verhalten von möglichst vielen Arten der Gattung Spirogyra gleichzeitig prüfen zu können.

Die Algen wurden jeweilen vor ihrer Benutzung auf den Gesundheitszustand untersucht und nur solche von tadellosem Aussehen für die Experimente herbeigezogen.

Die Pyrenoiden waren allgemein reich an Stärke. Die saftiggrünen Chlorophyllbänder lagen dicht an dem Protoplasmaschlauch. Zellkern und Kernkörperchen waren scharfrandig abgegrenzt.

Angegriffene Algen werden blaßgrün, die Chromatophoren ziehen sich von der äußeren Grenzschicht des Protoplasmas zurück.

Die ersten Beobachtungen fallen in die Zeit vom Dezember 1905 bis März 1906.

Die während des Sommers 1907 ausgeführten Experimente folgen später.

Die ersten Untersuchungen wurden bei diffusem Licht und Zimmertemperatur vorgenommen. 0,01 %iges Aluminiumsulfat bewirkte nach 2—3 Tagen wesentliche Entstärkung der Pyrenoiden. Höhere Konzentrationen wirkten bereits in dieser kurzen Zeit giftig. Als Kontrolle verwendete ich Spirogyra aus destilliertem Wasser.

Nachdem festgestellt war, daß das schwefelsaure Aluminium in schwachen Lösungen Entstärkung hervorruft, mußte noch entschieden werden, ob diese Wirkung auf das Konto des Metalls oder des Säureradikals zu schreiben sei. Versuche mit $MgSO_4$, $AlK(SO_4)_2$, $MnSO_4$, $FeSO_4$ und Na_2SO_4 zeigten keine Abnahme der Stärke. SO_4 spielt also bei diesem Vorgang keine Rolle, weshalb das Aluminium als entstärkender Faktor angenommen werden muß.

Auch in Schwefelsäure findet keine Stärkeabnahme statt. Somit kommt die infolge Hydrolyse entstehende schwachsaure Reaktion der Aluminiumsulfatlösung bei der Entstärkung nicht in Betracht.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Stoff	Konzentration in %	Ergebnisse
$MnSO_4 + 4\,H_2O$	**1.** 0,5 **2.** 0,1 **3.** 0,05 **4.** 0,01	Die Algen der 2 ersten Konzentrationen waren nach 5 Tagen tot, die beiden andern Versuche wiesen keine Entstärkung auf.
$MgSO_4 + 7\,H_2O$	**1.** 0,5 **2.** 0,1 **3.** 0,05 **4.** 0,01	Nach 10 Tagen keine Entstärkung.
$AlK(SO_4)_2 + 12\,H_2O$	**1.** 0,5 **2.** 0,1 **3.** 0,05 **4.** 0,01 **5.** 0,005	Nach 11 Tagen keine Entstärkung.
$FeSO_4 + 7\,H_2O$	**1.** 0,5 **2.** 0,1 **3.** 0,05 **4.** 0,01 **5.** 0,005	Das Material der beiden ersten Versuche war schon nach einem Tag tot, dasjenige der übrigen Konzentrationen nach 2 bzw. 3 Tagen.
$Na_2SO_4 + 10\,H_2O$	**1.** 1 **2.** 0,5 **3.** 0,1 **4.** 0,05 **5.** 0,01	Nach 5 Tagen keine Entstärkung.
$(NH_4)_2SO_4$	**1.** 1 **2.** 0,5 **3.** 0,1 **4.** 0,05 **5.** 0,01	Nach 6 Tagen keine Entstärkung.
H_2SO_4 (für analytische Zwecke benützte konzentrierte Schwefelsäure). Spez. Gew. 1,84.	**1.** 0,005 Vol.-Proz. **2.** 0,001 „ **3.** 0,0005 „ **4.** 0,0001 „ **5.** 0,00005 „	Nach 1 Tag tot. „ 2 Tagen tot. „ 3 „ 80 % tot, der Rest zeigt keine Stärkeabnahme. Nach 3 Tagen 75 % tot, die übrigen Fäden weisen keine Entstärkung auf. Nach 4 Tagen keine Entstärkung. „ 7 „ 90 % tot.

Anm. Die fettgedruckten Ziffern bedeuten die Nummern der Versuche.

Ferner wurde das Verhalten von $KClO_3$ (0,1; 0,05; 0,01 %) und $CaCl_2$ (0,1; 0,05; 0,01 %) in bezug auf Entstärkung geprüft, jedoch ohne positiven Erfolg.

Versuche, in welchen ich Lösungen von 0,1, 0,08, 0,06, 0,04, 0,02, 0,01, 0,008, 0,006, 0,004, 0,002 und 0,001 % Aluminiumsulfat verwendete, dienten zur Bestimmung der optimalen Konzentration. Es zeigte sich, daß die Lösungen 0,01 % und 0,008 % am wirksamsten sind. In einigen Versuchen wurde der größte Effekt mit 0,02 % und 0,006 % erzielt.

Wenn die entstärkten Spirogyren mit destilliertem Wasser ausgewaschen und hierauf in Regen- oder Leitungswasser gebracht und beleuchtet wurden, so war schon nach drei Tagen eine Speicherung neugebildeter Stärke in den Pyrenoiden bemerkbar. Es darf wohl diese Tatsache als ein Beweis dafür gelten, daß das Aluminiumsalz die Algen nicht dauernd geschädigt hatte.

Genauere Aufschlüsse über die diskutierten Verhältnisse geben die folgenden Zusammenstellungen einiger Versuchsserien:

Für jede Konzentration zählte ich zweimal 100 Algenfäden. Die Zählungen sind in den betreffenden wagrechten Lösungskolonnen unter I und II notiert. Das Versuchsmaterial befand sich auf dem äußeren Gesims eines nach Nordost liegenden Fensters. Die Versuche wurden Ende Dezember 1905 und anfangs Januar 1906 angestellt. Die Algen lagen im diffusen Licht. Der Unterschied zwischen Tag- und Nachttemperatur war klein, so daß die Temperatur der Alumiumlösung nur von 4° C bis 9° C variierte.

Serie A. Das Versuchsmaterial lag drei Tage in der Aluminiumsulfatlösung. Das Salzbad wurde während dieser Zeit nicht erneuert. Behufs Assimilation oder Stärkespeicherung brachte ich die entsärkten Spirogyren in Leitungswasser, nachdem sie mit destilliertem Wasser ausgewaschen waren. Die übrigen Bedingungen (Licht und Temperatur) blieben unverändert.

Die Untersuchung auf Stärke erfolgte nach $3^1/_2$ Tagen. Die Resultate sind auf Tabelle II verzeichnet. Hier gibt die Kolonne 0,01 % unter „Stärke“ die Anzahl (76 bzw. 66) der stärkehaltigen Algenfäden der Spyrogyren an, die im ersten Teil des Versuches in 0,01 %iger Aluminiumsulfatlösung entstärkt waren. Analog verhält es sich mit den übrigen Konzentrationen.

Aus der wagerechten Kolonne 0,01 % I der Tabelle I erfahren wir, daß bei dem Vorgang der Entstärkung von 100 Algenfäden 67 Fäden

stärkefrei wurden; 20 zeigten nur eine Abnahme der Stärke, bei neun Fäden war keine Änderung der Stärkemenge bemerkbar, vier Fäden waren tot.

In diesem Fall sind also 67 % der Spirogyren entstärkt worden.

Die entsprechende Kolonne in der Tabelle II zeigt, daß diese Algen wieder Stärke bilden, wenn sie aus der 0,01 %igen Sulfatlösung in Leitungswasser übertragen werden. Von 100 Fäden enthalten 76 wieder annähernd gleich viel Stärke wie vor der Aluminiumbehandlung, sechs Fäden haben innerhalb der Versuchsdauer keine Stärke gespeichert, 18 sind zugrunde gegangen.

23. Dez. 1905 nachm. Entstärkung. Serie A, Tab. I.

Konzentration		Keine Stärke	Stärkeabnahme	Unverändert	Tot
Destill. Wasser	I	2	31	66	1
	II	3	46	51	—
0,01 %	I	67	20	9	4
	II	57	32	9	2
0,02 %	I	53	21	17	9
	II	47	20	27	6
0,04 %	I	55	12	3	30
	II	53	6	2	39
0,06 %	I	39	10	2	49
	II	39	11	3	47
0,08 %	I	26	21	—	53
	II	20	32	—	38

27. Dez. 1905 vorm. Assimilation. Serie A, Tab. II.

Konzentration		Keine Stärke	Stärke	Tot
Destill. Wasser	I	1	87	12
	II	3	81	16
0,01 %	I	6	76	18
	II	6	66	28
0,02 %	I	3	10	87
	II	7	35	58
0,04 %	I	6	15	79
	II	4	12	84
0,06 %	I	9	7	84
	II	3	2	95
0,08 %	I	12	—	88
	II	10	4	84

Serie B. Auf der Tabelle III folgt eine zweite Serie von Entstärkungsversuchen.

Dauer 3 Tage, Temperatur 4—9 ° C, diffuses Licht. Die Angaben für die hohen Konzentrationen fallen außer Betracht, weil in diesen Lösungen der Tod reichlich Ernte hielt.

26. Dez. 1905. Entstärkung. Serie B, Tab. III.

Konzentration		Keine Stärke	Stärkeabnahme	Unverändert	Tot
Destill. Wasser	I	13	41	46	—
	II	19	40	37	4
0,01 %	I	25	40	25	10
	II	20	38	28	14
0,02 %	I	34	27	23	16
	II	31	35	16	18

5. Jan. 1906. Entstärkung. Serie C, Tab. IV.

Konzentration		Keine Stärke	Stärkeabnahme	Unverändert	Tot
Destill. Wasser	I	15	40	42	3
	II	19	38	42	1
0,01 %	I	68	12	15	5
	II	56	22	18	4
0,02 %	I	32	14	34	20
	II	26	16	33	25
0,04 %	I	18	10	39	33
	II	21	8	41	30

8. Jan. 1906. Entstärkung. Serie D, Tab. V.

Konzentration		Keine Stärke	Stärkeabnahme	Unverändert	Tot
Destill. Wasser	I	3	36	61	—
	II	2	34	64	—
0,01 %	I	27	26	47	—
	II	27	24	47	2
0,02 %	I	46	26	27	1
	II	57	18	25	—
0,04 %	I	49	31	19	1
	II	48	28	24	—

Serie C und D. Die Algen standen unter den gleichen Bedingungen wie in den beiden vorhergehenden Versuchsreihen.

In den drei letzten Serien wurden die Assimilationsversuche auf die Spirogyren der 0,01- bzw. 0,02 %igen Lösungen beschränkt, da sich in den höheren Konzentrationen bereits nach der Entstärkung eine große Anzahl toter Zellen vorfand. Diese Versuche zeigten, daß 60—70 % der Algen wieder Stärke in den Pyrenoiden speichern.

Für den Stärkenachweis wurde die Jodreaktion verwendet. Als stärkefrei betrachtete ich solche Zellen, deren Pyrenoiden nach der Behandlung mit Jod nur noch in der Kontur dunkle Trübung zeigten.

Behufs sicherer Entscheidung über die Entstärkung wurden auch in Alkohol entfärbte Algen der Jodprobe unterworfen.

Die erwähnten Differenzen in der Färbung der Pyrenoiden treten schon bei schwacher Vergrößerung deutlich hervor. Zur Beobachtung der Stärkeauflösung in den einzelnen Amylumherden benützt man mit Vorteil eine starke Vergrößerung.

Es ist noch zu bemerken, daß man hie und da auch in den Algen des destillierten Wassers schwache Stärkeabnahme konstatieren kann. Man trifft oft auch einige ganz entstärkte Algenfäden, ihre Zahl ist aber sehr gering.

Die im Winter bei niederer Temperatur ausgeführten Versuche sollten nun auch im Sommer, also bei optimalen Assimilationsbedingungen bestätigt werden. Es stellten sich jedoch anfänglich keine allgemeinen Entstärkungen mehr ein, sofern ich in gleicher Weise experimentierte wie im Winter.

Durch Änderung der Konzentration konnte ich vorerst die Schwierigkeit heben. Ein Versuch soll dies zeigen.

Al sulfuricum 17.—20. Mai 1907. Höchste Temperatur = 13° C, tiefste Temperatur = 5° C. Die Spirogyren befanden sich vom 17. Mai vormittags 10 Uhr bis nachmittags 4 Uhr in 0,005 % Al sulfuricum, von da bis 19. Mai vormittags 10 Uhr in 0,01 % und dann bis zum 20. Mai nachmittags 6 Uhr in 0,02 % Al sulfuricum. Während dieser Zeit (vom 17. Mai vormittags 10 Uhr bis 20. Mai nachmittags 6 Uhr) entstärkten sich 90 % der Fäden.

Später, gegen den Hochsommer, versagte aber auch diese Methode. Die Algen gingen zugrunde, bevor sie entstärkt waren. Auch die Spirogyren im destillierten Wasser waren in mehreren Fällen schon nach vier Tagen tot. Zudem stellte es sich heraus, daß das von allen Seiten durch die Wände des Glasgefäßes einfallende Licht schädlich wirkte.

Um diesem Übelstand zu begegnen, umwickelte ich anfänglich die Gefäße mit Filtrierpapier; später benützte ich statt der hohen Glasgefäße irdene, grün glasierte Schalen von etwa 3 cm Höhe. Diese erwiesen sich als sehr zweckmäßig, indem sie dem Lichte bloß Zutritt von oben gestatten.

Zwecks Verhinderung der Fäulnis wechselte ich 4mal täglich die Lösungen.

Auf diese Weise gelang es, auch bei ziemlich hohen Temperaturen (maximale Temperatur = 23° C) mit 0,005 %iger Aluminiumsulfatlösung Entstärkung hervorzurufen.

Das Versuchsmaterial befand sich bei diesen Experimenten in grünen Schalen auf dem Gesims des NO-Fensters, stand also unter diffusem Licht.

Gleichzeitig versuchte ich die Frage zu beantworten, ob die im vorhergehenden festgestellte Wirkung des Aluminiumsulfates auch bei anderen Aluminiumsalzen vorkommt. Ich prüfte in dieser Hinsicht Al nitricum, Al bichromicum und Al chloratum. Die Versuche, deren Ergebnisse folgen, sind anfangs Juli in grünen Schalen und bei diffusem Licht ausgeführt worden.

Al nitricum 0,005 %, mittlere Temperatur = 22° C. Nach 6 Tagen 80 % der Algenfäden entstärkt.

Al bichromicum 0,003 %, mittlere Temperatur = 19° C. Nach 5 Tagen 52 % der Algenfäden entstärkt.

Al chloratum 0,003 %, mittlere Temperatur = 19° C. Nach 4 Tagen 60 % der Algenfäden entstärkt.

Al sulfuricum 0,005 %, mittlere Temperatur = 19° C. Nach 3 Tagen 68 % der Algenfäden entstärkt.

Die Resultate einer anderen Serie von Versuchen, die im August bei einer mittleren Temperatur von 24° C in diffusem Licht angestellt wurden, sind in der folgenden Tabelle notiert.

5. Aug. 1907. Tab. VI. Temperatur 24° C.

Salz	Zeit	Keine Stärke	Stärkeabnahme	Unverändert	Tot
Al sulfuricum 0,005 %	4 Tage	61	10	11	18
Al bichromat. 0,003 %	3 Tage	41	13	22	24
Al chlorat. 0,003 %	5 Tage	65	4	17	14
Al nitricum 0,005 %	5 Tage	63	8	18	11
Destill. Wasser	5 Tage	8	—	87	5

Es sind noch einige Bemerkungen über diese Versuche notwendig. Vorerst möchte ich auf die schwachen Konzentrationen der Aluminiumsalze hinweisen. Im Winter mußten wir 0,01- oder wenigstens 0,008 %iges Al sulfuricum anwenden, um eine Wirkung zu erzielen; im Sommer genügte bereits eine Konzentration von 0,005 %. Auch bei den übrigen Salzen reichten sehr schwache Lösungen hin.

In den Chlorophyllbändern der behandelten Spirogyren beobachtet man oft schmale, dunkle Streifen, die sich zwischen Pyrenoiden hinziehen und als Stärkereste gedeutet werden könnten. Wenn man die Algen für einige Stunden in absoluten Alkohol legt und nachher das Material wieder untersucht, so kann man leicht konstatieren, daß auch diese Streifen stärkefrei sind. — Hie und da treten an der Stelle der Pyrenoiden kleinere oder größere Blasen auf, die vielleicht als Reste der aufgelösten Amylumherde aufgefaßt werden dürfen.

Die Spirogyren können außer der Aluminiumsalze noch mit Lanthan nitricum und Yttrium nitricum entstärkt werden.

Lanthan nitricum 17.—21. Mai 1907. Mittlere Temperatur 11° C. Spirogyren vom 17. Mai vorm. 10 Uhr bis nachm. 4 Uhr in 0,01 %, 17. Mai nachm. 4 Uhr bis 18. nachm. 3 Uhr in 0,02 %, 18. Mai nachm. 3 Uhr bis 19. vorm. 10 Uhr in 0,025 %, 19. Mai vorm. 10 Uhr bis 20. nachm. 5 Uhr in 0,03 %, 20. Mai nachm. 5 Uhr bis 21. vorm. 10 Uhr in 0,035 %. Die am 21. Mai vorm. 10 Uhr vorgenommene Untersuchung wies in 70 % der Algenfäden eine Entstärkung auf.

Yttrium nitricum. Anfangs Juli. Mittlere Temperatur 17° C. Die Spirogyren lagen 7 Tage in 0,008 %igem Yttrium nitricum. Während dieser verhältnismäßig langen Versuchsdauer wurden 72 % entstärkt.

Es ist noch zu bemerken, daß sich nicht alle Spirogyraarten gleich leicht entstärken lassen. Die Ursache liegt wohl in dem Umstand, daß einige Spirogyren sehr reich mit umhüllender Gallerte beschenkt sind, wodurch dem Agens das Eindringen erschwert wird. Die Spirogyra neglecta ist ein solches schwierig zu entstärkendes Objekt. Auch Klebs (II pag. 352 und 377) hat festgestellt, daß durch Einlagerung von Tonerdesalzen in die Gallertscheide der Verkehr mit der Außenwelt erschwert wird.

Vielleicht ist außerdem noch die Tatsache zu berücksichtigen, daß die großen Pyrenoiden der Spirogyra neglecta außerordentlich viel Stärke gespeichert haben.

Zum Schluß seien noch die im Juli 1907 mit Elodea canadensis und Lemna trisulca ebenfalls in grünen Schalen und bei diffusem Licht angestellten Versuche erwähnt. Die Blättchen von Elodea enthielten in ihren Chlorophyllkörnern nur wenig Stärke, während die Lemna reichlich mit dem Assimilationsprodukt versehen war. Die Entstärkung kann bei dem ersten Versuchsobjekt nur in dem mittels Alkohol entfärbten Material deutlich beobachtet werden, weil bei einfacher Jodprobe die Differenz zwischen behandeltem und unbehandeltem Material zu klein ist. Für die Feststellung der Stärkeauflösung wurden Blättchen aus der unteren, mittleren und oberen Region des Sprosses verwendet. Bei Lemna beginnt die Entstärkung am Rand der Blattlamina. Sie läßt sich jedoch nicht durch das ganze Blatt vollständig durchführen.

Wie aus den folgenden Aufstellungen ersichtlich ist, sind für Elodea höhere Konzentrationen der Aluminiumsalze notwendig als für Lemna.

Elodea canadensis.

Al sulfuricum 0,02 %, Entstärkung nach 5 Tagen.
Al nitricum 0,02 %, „ „ 5 „
Al bichromicum 0,006 %, „ „ 4 „

Lemna trisulca.

Al sulfuricum 0,01 %, bedeutende Stärkeabnahme nach 4 Tagen.
Al nitricum 0,008 %, bedeutende Stärkeabnahme nach 4 Tagen.
Al bichromicum 0,005 %, bedeutende Stärkeabnahme nach 3 Tagen.

Entstärkungsversuche an Spirogyren, bei denen statt der Aluminiumsalze Aluminiumblech verwendet wurde, blieben ohne Erfolg. Hingegen konnte ich im Juli mit 0,007 % Aluminiumsulfat innerhalb 5 Tagen auch dann Entstärkung erreichen, wenn die Gefäße mit dem Versuchsobjekt in einen Teich im Freien gesetzt wurden. Bei einem Versuch waren 51 %, bei dem zweiten bloß 43 % entstärkt.

II. Permeabilität durch Aluminiumsalze.

I. Spirogyren.

a) Aluminiumsulfat.

Bei Anlaß der Entstärkungsversuche prüfte ich auch das plasmolytische Verhalten der mit Aluminiumsulfat behandelten Spirogyren. Ich machte dabei die auffallende Beobachtung, daß Kalisalpeter nicht mehr imstande war, normale Plasmolyse hervorzurufen; hingegen zog sich der Zellsaftraum zu einem oder zwei kugelförmigen Gebilden zu-

sammen, die gleiches Aussehen hatten wie die de Vriesschen Vakuolen.

Es mußte vorerst noch entschieden werden, ob auch andere plasmolysierende Stoffe die soeben besprochene Erscheinung zeigen und eventuell bis zu welchen Konzentrationen in auf- und absteigender Richtung.

Für die erste Abteilung dieser plasmolytischen Versuche verwendete ich Spirogyren, die während drei Tagen in 0,01 %iger Lösung von Aluminiumsulfat lagen. Die Spirogyren für die zweite Serie befanden sich gleich lang in destilliertem Wasser. Die Glasgefäße standen am Nordostfenster des Laboratoriums. Die Temperatur betrug durchschnittlich 16° C; es traten nur geringe Schwankungen ein.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der anfangs Januar ausgeführten Versuche notiert.

Tab. VII.

Spirogyren 3 Tage in Al-Sulfat 0,01 %				Kontrolle: 3 Tage im dest. Wass.
Kalisalpeter 10,1 %:	Keine Plasm.,	beständige	Zellsaftblasen	Plasmolyse
„ 5,05 %:	„	„	„	„
„ 2,5 %:	„	„	„	„
„ 1,01 %:	„	—		Partielle „
Glyzerin 11,7 %:	„	verschwindende	„	„
„ 5,8 %:	„	„	„	Partielle „
„ 2,9 %:	„	„	„	Keine „
„ 1,4 %:	„	—		„ „
Rohrzucker 46 %:	„	„	„	„
„ 23 %:	„	„	„	Partielle „
„ 11 %:	„	—		Keine „
Traubenzucker 23 %:	„	„	„	„
„ 11,5 %:	„	„	„	„
„ 5,7 %:	„	„	„	„
„ 2,3 %:	„	—		Keine „

Die Zahlen bedeuten Gewichtsprozente, nur beim Glyzerin stellen sie Volumprozente dar.

Die Plasmolyse ist nach Abspülung des Aluminiumsalzes im destillierten Wasser in üblicher Weise zwischen Objekt- und Deckgläschen vorgenommen worden.

Die nach Zusatz von Kalisalpeter in den Spirogyrazellen entstandenen Zellsaftblasen dauerten einige Stunden an. In den drei anderen Agentien traten diese Gebilde nicht allgemein auf und verschwanden wieder nach kurzer Zeit.

Aus obigen tabellarischen Darstellungen ist ersichtlich, daß außer Kalisalpeter auch noch Glyzerin, Rohrzucker und Traubenzucker die mit Aluminiumsulfat behandelten Spirogyren nicht mehr zu plasmolisieren vermögen, auch dann nicht, wenn man verhältnismäßig hohe Konzentrationen anwendet. Die Bildung der Zellsaftblasen hört annähernd in derjenigen Konzentration auf, bei welcher die normale Zelle nicht mehr plasmolysiert wird.

Analoge Resultate erreichte ich mit Natriumsulfat, Ammoniumchlorid, Ammoniumsulfat, Kaliumacetat, neutr. weinsaurem Kalium und Harnstoff.

Antipyrin, das bekanntlich in das normale Protoplasma eindringt. erzeugt keine Vakuolen.

Diese Vorgänge erinnern an Erscheinungen, die von Hugo de Vries (pag. 488) in seinen „Plasmolytischen Studien über die Wand der Vakuolen“ geschildert werden. H. de Vries versuchte frische Spirogyren mittels 10 %iger KNO_3-Lösung zu plasmolysieren und machte dabei drei Beobachtungen:

1. Normale Plasmolyse; nachher starb das äußere Protoplasma und verlor seine Spannung; die Wand der Vakuole blieb gespannt.

2. Die Hautschicht wurde sofort fixiert; Kern und Chlorophyllkörper haften im toten Zustand an der Hautschicht; die Vakuolen liegen frei im Zellraum.

3. Der Protoplast wurde zwar in normaler Weise plasmolysiert, starb aber während dieses Prozesses, oft lange bevor die Kontraktion beendet war. Innerhalb des erstarrten und nur wenig kontrahierten Körpers isolierten sich die Vakuolen zu mehr oder weniger freien, kugeligen Blasen.

Man ist vielleicht geneigt, namentlich in dem zweiten Bild ein Analogon zu meinen Beobachtungen zu sehen. Und doch handelt es sich bei meinen Untersuchungen um einen in Ursache und Wirkung ganz anderen Vorgang.

De Vries operierte mit 10 %iger Salpeterlösung, die allmählich das Protoplasma tötete. Ich verwendete nebst der Konzentration von 1 Mol auch Lösungen von $^1/_2$ und $^1/_4$ Mol, mit welchen man erfahrungsgemäß ohne Schädigung plasmolysieren kann und die auch tatsächlich bei meinen Versuchen keine Veränderungen in den Zellen hervorriefen, die als Krankheitssymptom oder Merkmal bereits eingetretenen Todes hätten gedeutet werden können.

Daß bei meinen Experimenten die Erstarrung der Hautschicht im de Vriesschen Sinne keineswegs in Betracht kommt, zeigt uns der

folgende Versuch. Spirogyren, die 3 Tage lang in einer 0,01 %igen Lösung von Aluminiumsulfat eingetaucht waren und infolge dessen nicht mehr plasmolysierten, wurden in gewöhnliches Leitungswasser, in ausgekochtes Leitungswasser, in Regenwasser und destilliertes Wasser übertragen. Schon nach Verfluß von 5 Stunden beobachtete man in den aus den drei ersten Flüssigkeiten stammenden Algen nach Zusatz von $^1/_3$ Mol = 3,4 % Kalisalpeter schwache partielle Plasmolyse. Die Spirogyren aus dem destillierten Wasser plasmolysierten noch nicht. Nach 2 Tagen angestellte Beobachtungen ließen normale, totale Plasmolyse erkennen; einzig die Algen des destillierten Wassers hatten sich nicht mehr erholt im Sinne der Wiederplasmolysierbarkeit; die meisten Zellen waren tot.

Es gelingt somit, die Zellen in den plasmolysierbaren Zustand zurückzuführen, wenn man sie dem Einfluß des Aluminiumsalzes entzieht und in Leitungs- oder Regenwasser bringt. Die osmotische Spannungsfähigkeit der Hautschicht geht nicht verloren, Erstarrung ist also ausgeschlossen.

Wenn aber dem so ist, so muß die Ursache für das Nichteintreten der Plasmolyse in der Permeabilität des Plasmaschlauches liegen. Das Aluminiumsalz wird also in der Zelle eine solche Veränderung bewirken, daß die Barriere in der Hautschicht gehoben wird. Die normalerweise plasmolysierenden Agentien können dann ungehindert in den Zellkörper eindringen und rufen somit keine Kontraktion des Protoplasmas mehr hervor.

Über das mutmaßliche Wesen dieses Prozesses soll später berichtet werden.

Die minimale Dauer für die Wirkung des Aluminiumsalzes auf die Spirogyrazelle behufs Aufhebung der Impermeabilität beträgt für 0,01 %ige Lösungen im allgemeinen 2 Tage. Ich habe jedoch Fälle beobachtet, bei welchen sogar 1 Tag genügte.

Es soll nun im weiteren festgestellt werden, ob auch neutrale Salze und Zucker die Wiederplasmolysierbarkeit herbeiführen können.

Für die ersten in dieser Hinsicht angestellten Versuche verwendete ich $^1/_{10}$ Mol-Lösungen von Kochsalz, Kalisalpeter und Traubenzucker. Im Kontrollversuch figurierte Leitungswasser. Permeable Spirogyren (3 Tage in 0,01 %igem Aluminiumsulfat) befanden sich während 24 Stunden in diesen Flüssigkeiten. Die Plasmolyse mit 0,3 Mol Kalisalpeter ergab folgende Resultate.

Spirogyra aus:

1. Leitungswasser: Plasmolyse, Beginn nach $^1/_4$ Std., Max. nach $^3/_4$ Std.
2. Traubenzucker: „ „ „ $^1/_4$ „ „ „ $^3/_4$ „
3. Kochsalz: „ „ „ $^1/_3$ „ „ „ 1 „
4. Kalisalpeter: schwache Plasmolyse, Beginn nach $^1/_3$ Std.

Bei den frischen Spirogyren beginnt die Plasmolyse mit 3 % KNO_3 sofort und ist nach $^1/_2$ Stunde beendigt.

Die Algen der Lösungen 2, 3 und 4 wurden dann in Leitungswasser gebracht und nach Verfluß von 20 Stunden neuerdings plasmolysiert. Die Kontraktion trat allgemein rascher ein als bei der ersten Untersuchung.

Die Spirogyren werden also auch in schwachen Lösungen von Traubenzucker, Kochsalz und Salpeter wieder impermeabel. In Traubenzucker erholen sie sich besser als in den beiden Salzen.

Dieser Umstand veranlaßte mich, auch mit mehrwertigen Alkoholen zu experimentieren. Von den dreiwertigen Alkoholen wählte ich das Glyzerin, von den sechswertigen den Mannit und dessen Isomerien Dulcit und Isodulcit, alle Stoffe in der Konzentration von $^3/_{20}$ Mol. In die Lösungen dieser vier Verbindungen brachte ich permeable Spirogyren. Nach 40 Stunden erfolgte der Nachweis der Impermeabilität durch Plasmolyse mit 3 %igem Kalisalpeter. Die Plasmolyse verlief sehr ungleich; bei den Algen aus dem Isodulcit begann sie sofort und endigte nach einer halben Stunde; beim Dulcitmaterial beobachtete ich erst nach 15 Minuten schwache Kontraktion, totale Plasmolyse trat nach 50 Minuten ein. In Mannit und Glyzerin haben sich die Spirogyren nicht erholt.

Ein Vergleich zwischen den Wirkungen des Isodulcits einerseits und des Traubenzuckers und Regen- oder Leitungswassers andererseits fällt zugunsten des ersteren aus. In Isodulcit läßt sich der normale Zustand der Algen schon innerhalb 2 Tagen herstellen, während für Traubenzucker und Wasser 4 und 5 Tage notwendig sind, um wieder vollständige Plasmolyse zu erhalten.

Das hier verwendete chemisch reine Isodulcit wurde von Merck in Darmstadt bezogen.

Die dünnen Lösungen von Kochsalz, Traubenzucker und Isodulcit vermögen also wie das reine Wasser die Impermeabilität wieder herzustellen. Es drängt sich nun einem die Frage auf, ob diese Stoffe, besonders die organischen Substanzen, auch noch antagonistisch gegen Aluminiumsulfat wirken.

Versuche, für die ich 2,7 % Isodulcit in 0,02 % Aluminiumsulfat löste, bejahten die Frage für Isodulcit, indem die Spirogyren bei gleichzeitiger Einwirkung der beiden Stoffe ihre Impermeabilität nicht verloren.

Um eine genaue Prüfung dieser Verhältnisse durchzuführen, mußte noch eine Abstufung der beiden Teile des Gemisches in Betracht gezogen werden in der Art, daß jeweilen bei konstanter Konzentration des einen Stoffes diejenige des anderen Agens variierte. Es darf doch z. B. nicht von vornherein als ausgeschlossen angenommen werden, daß eine stärkere Konzentration des Aluminiumsulfates imstande ist, den entgegengesetzten Einfluß des Zuckers ganz oder teilweise aufzuheben.

Anordnung und Resultate dieser Versuche sollen im Folgenden mitgeteilt werden.

1. Traubenzucker.

Übertragung frischer Spirogyren in die unten verzeichneten Flüssigkeiten. Traubenzucker steigt auf 11,5 %, d. i. eine Konzentration, in welcher die Spirogyren unter gewöhnlichen Umständen plasmolysieren. Dauer 3 Tage; Temperatur 15 ° C.

13. März 1906. Tab. VIII.

Spirogyra 3 Tage in	Plasmolyse nach 3 Tagen mit 3 % Kalisalpeter
1. Destill. Wasser	Normale Plasmolyse
2. Aluminiumsulfat 0,02 %	Keine „
3. 2,3 % Traubenz. in 0,02 %igem Al.-Sulfat.	Normale „
4. 4,6 % „ „ „ „	„ „
5. 6,9 % „ „ „ „	„ „
6. 9,2 % „ „ „ „	6 u. 7 schon in den Gemischen plasmolysiert
7. 11,5 % „ „ „ „	

Die Mischung 3 enthält auf je 97,7 ccm 0,02 %iges Aluminiumsulfat 2,3 g Zucker, 4 auf je 95,4 ccm 0,02 %iges Aluminiumsulfat 4,6 g Zucker usw. Der Traubenzucker ist wasserfrei und vollkommen rein, wie er zu analytischen Zwecken verwendet wird.

Nach 3 Tagen waren die Algen in den Gemischen 6 und 7 total, in den Lösungen 4 und 5 partiell plasmolysiert. Setzt man den Spirogyren aus 4 und 5 3 %igen Salpeter zu, so wird die Kontraktion vollständig. In 3 und 1 haben die Algen normales Aussehen; die Protoplasten erfüllen den Zellraum und plasmolysieren noch vollständig. Bei 2 ist Plasmolyse nicht mehr möglich, die Zellen sind permeabel.

Hinreichende Mengen von Traubenzucker annullieren den Einfluß des Aluminiumsalzes. Aus der Zusammenstellung ersehen wir ferner, daß hierzu bereits eine Konzentration von 2,3 % Zucker genügt.

Durch Änderung der Konzentration des Aluminiumsulfates erhalten wir die folgende Serie:

1. Aluminiumsulfat,
2. 2,3 % Zucker,
3. 2,3 % „ in 0,02 % igem Aluminiumsulfat,
4. 2,3 % „ „ 0,04 % igem „
5. 2,3 % „ „ 0,06 % igem „
6. 2,3 % „ „ 0,08 % igem „

Die Algen lagen drei Tage lang in den Lösungen. Hierauf versuchte ich, sie mit Salpeter zu plasmolysieren.

Das Material in 2, 3 und 4 zeigte normale Kontraktion. Die Spirogyren der Gemische 5 und 6 waren tot.

Die Fälle 3 und 4 bestätigen also den im vorhergehenden gezogenen Schluß betreffs Wirkung des Traubenzuckers. Außerdem zeigt uns der 4. Fall, daß der Zucker selbst in einer 0,04 % igen Aluminiumsulfatlösung das Protoplasma vor der Permeabilität zu schützen vermag.

2. Isodulcit.

In gleicher Weise wurde Isodulcit für die Versuche herangezogen. Die Wahl der Konzentrationen ist aus den folgenden beiden Aufstellungen ersichtlich.

5. April 1906. I.

1. Destilliertes Wasser,
2. 0,01 % iges Aluminiumsulfat.
3. 2,7 % Isodulcit in 0,01 % igem Aluminiumsulfat,
4. 2,7 % „ „ 0,04 % igem „
5. 2,7 % „ „ 0,07 % igem „
6. 2,7 % „

Nach fünf Tagen normale Plasmolyse mit Kochsalz (2 %) in den Algen 1, 3 und 6. 4 und 5 tot. 2 keine Plasmolyse.

II.

1. Destilliertes Wasser,
2. 2,7 % Isodulcit,
3. 2,7 % „ in 0,01 % igem Aluminiumsulfat,
4. 8,1 % „ „ 0,01 % igem „
5. 10,8 % „ „ 0,01 % igem „
6. 0,01 iges Aluminiumsulfat.

Untersuchungen nach fünf Tagen mit 2 %igem NaCl: 1 und 2 totale Kontraktion, die Algen aus 3 werden teils total, teils bloß partiell plasmolysiert, 6 keine Plasmolyse. 4 und 5: Die Spirogyren sind bereits im Gemisch plasmolysiert.

Das Verhalten des Isodulcits stimmt also im wesentlichen mit demjenigen des Traubenzuckers überein. Zu einem analogen Ergebnis führten mich entsprechende Versuche mit Glyzerin.

3. Natriumchlorid und Kalisalpeter.

Wenn ich auch noch mit Kochsalz und Salpeter experimentierte, so bezweckte ich damit, den Traubenzucker und das Isodulcit durch Verbindungen ohne Nährwert bzw. mit geringem Nährwert zu ersetzen, so daß nur noch der osmotische Faktor wesentlich in Betracht kommt.

Die Experimente wurden für beide Salze gleich ausgeführt. Es möge daher die Aufstellung für das Kochsalz genügen.

17. März 1906. Tab. IX.

Spirogyra 3 Tage in	Plasmolyse nach 2 Tagen mit 3 % Kalisalpeter
1. Destill. Wasser	Normale Plasmolyse
2. Aluminiumsulfat 0,01 %	Keine „
3. 0,585 % NaCl in 0,01 %igem Al-Sulfat .	„ „
4. 1,17 % „ „ „ „	Partielle „
5. 1,75 % „ „ „ „	5, 6 u. 7: Schon in den Gemischen totale Plasmolyse
6. 2,34 % „ „ „ „	
7. 2,92 % „ „ „ „	

Erste plasmolytische Untersuchung der Algen nach 2 Tagen mit 3 %igem KNO_3: In 1 totale Plasmolyse, in 2 und 3 mit wenigen Ausnahmen keine Plasmolyse. Die Algen des vierten Versuchs waren schon in der Lösung $Al_2(SO_4)_3 + NaCl$ partiell, diejenigen des 5., 6. und 7. Versuchs total plasmolysiert. — Beobachtungen nach 2 weiteren Tagen wiesen in den drei ersten Nummern gleiche Resultate auf. In der Lösung Nr. 4 waren die meisten Algenfäden tot. Die Spirogyren der höheren Kochsalzkonzentrationen Nr. 5, 6 und 7 sind ebenfalls zugrunde gegangen.

Bei einer anderen Serie variierte die Konzentration des Aluminiumsalzes von 0,01 % bis 0,07 % (0,01, 0,04, 0,07); das Natriumchlorid wurde jeweilen zu 0,58 % gelöst. Die Spirogyren gingen in den Gemischen, die über 0,01 % Aluminiumsulfat enthielten, zugrunde; in der Lösung 0,58 % NaCl in 0,01 %igem Aluminiumsulfat wurden die Algen permeabel.

Gleiche Ergebnisse erzielte ich mit Kalisalpeter. Das Aluminiumsulfat übt also auch in einer Mischung mit Kochsalz oder Kalisalpeter

die ihm eigentümliche Wirkung auf die Zelle aus, sofern diese Salze in einer schwachen Konzentration ($^1/_{10}$ Mol) verwendet werden. Gegenüber höheren Konzentrationen vermag das Aluminiumsalz allerdings seinen Einfluß nicht mehr geltend zu machen. Die Aluminiumverbindung kann die frühzeitig eintretende Plasmolyse nicht aufhalten und später auch nicht mehr rückgängig machen. Es scheint, als ob die plasmolysierte Zelle unempfindlich wäre für die Permeabilitätswirkung des Aluminiumsulfates.

Man darf wohl annehmen, daß eine ähnliche Prüfung einer Menge anderer Verbindungen in bezug auf ihr Verhalten gegenüber dem Aluminiumsalz uns Veranlassung böte, diese Stoffe in zwei Gruppen einzuteilen. Die erste Abteilung wird diejenigen umfassen, welche den Einfluß des Aluminiumsulfates auf das Protoplasma aufheben: Traubenzucker, Isodulcit, Glyzerin usw. Die in dieser Hinsicht ohnmächtigen Verbindungen Kalisalpeter und Natriumchlorid weisen darauf hin, daß auch andere anorganische Neutralsalze sich gleich verhalten würden.

---

b) Andere Aluminiumsalze.

Es soll nun noch die Frage beantwortet werden, ob die Wirkung des Aluminiumsulfates auch anderen Verbindungen des Aluminiums zukommt und ob man vielleicht bei weiteren Gliedern der Aluminiumgruppe ein gleiches Verhalten feststellen kann wie beim Aluminiumsulfat. Außer der verschiedenen Aluminiumsalze prüfte ich noch Lanthan und Yttrium.

Sämtliche unten verzeichneten Salze stammen von Merck in Darmstadt. Al boricum löst sich sowohl im kalten wie auch im warmen Wasser nicht in der notwendigen Konzentration, weshalb ich dieses Salz ausschalten mußte. Das Al hypophosphorosum, von dem Merck bloß angibt, daß es in Wasser löslich sei, löst sich erst bei einer Verdünnung von 0,003 % bis auf verschwindend kleine Spuren. Das Versuchsmaterial befindet sich also in diesem Fall in einer gesättigten Lösung. Die Sättigungskonzentration liegt aber noch etwas unter 0,003 %. Aus der folgenden Aufstellung sind die äquimolekularen Gewichtsprozente ersichtlich, bezogen auf die Stammlösung 0,01 % Aluminiumsulfat.

Alle angeführten Salze, ausgenommen Al hypophosphorosum, sind leicht löslich im Wasser.

Tab. X.

Stoff	Formel	Mol.-Gewicht	Prozent
Aluminium sulfuricum	$Al_2(SO_4)_3 + 18\,H_2O$	666	0,1
„ nitricum	$Al_2(NO_3)_6 + 18\,H_2O$	750	0,112
„ hypophosphor. . . .	$Al_2(PO_2H_2)_6$	444	0,066
„ bichromicum . . .	$Al_2(Cr_2O_7)_3$	705	0,106
„ chloratum	$Al_2Cl_6 + 12\,H_2O$	483	0,072
Yttrium nitricum	$Y_2(NO_3)_6 + 12\,H_2O$	766	0,115
Lanthan nitricum	$La_2(NO_3)_6 + 12\,H_2O$	865	0,13

Die im Sommer 1906 bei Zimmertemperatur und in diffusem Licht angestellten Versuche mit diesen Salzen sind in den Tabellen XI und XII notiert.

Tabelle XI. In der ersten Kolonne steht jeweilen die chemische Formel des Salzes, das für die Überführung des Protoplasmas in den permeabeln Zustand verwendet wurde. Die Zahlen 0,005, 0,003 usw. benennen die Konzentration der betreffenden Verbindung. Die Lösungen sind annähernd äquimolekular zu 0,005 % Aluminiumsulfat. Eine Ausnahme bilden die Versuche C, F und G, für die konzentriertere Lösungen benützt wurden. Das Datum bezeichnet den Beginn des Versuches. Die Versuchsdauer findet man in der zweiten Kolonne. Daneben stehen die Ergebnisse der plasmolytischen Untersuchungen mit Kalisalpeter, Kochsalz, Rohrzucker usw.

Die Tabelle XI sagt uns, daß die Permeabilität nicht nur mit Aluminiumsulfat, sondern allgemein durch die wasserlöslichen Salze des Aluminiums erzielt wird. Es genügen sehr schwache Lösungen. Die erforderliche Zeit schwankt zwischen 1 und 2 Tagen. Zellsaftblasen sind bloß noch bei KNO_3 beobachtet worden. Lanthan- und Yttriumnitrat zeigen gleiches Verhalten wie die Aluminiumsalze.

Spirogyren. 1. Permeabilität. Tab. XI.

Algen in	Während	Keine Plasmolyse	
		mit	Mol
A $Al_2(SO_4)_3 + 18\,H_2O$ 0,005 % 13. Aug. 1906	1 Tag	Kalisalpeter (Zellsaftblasen) Natriumchlorid Aluminium chloratum Aluminium nitric. Rohrzucker	$^1/_4$, $^1/_2$ $^1/_4$ $^1/_{10}$ $^1/_{10}$ $^1/_3$, $^2/_3$
B $Al_2(NO_3)_6 + 18\,H_2O$ 0,005 % 13. Aug. 1906	2 Tagen	Kalisalpeter (Zellsaftblasen) Natriumchlorid Aluminium nitric. Rohrzucker Glyzerin	$^1/_2$ $^1/_4$ $^1/_{10}$ $^2/_3$ $^2/_3$

Tab. XI (Fortsetzung).

Algen in	Während	Keine Plasmolyse	
		mit	Mol
C $Al_2Cl_6 + 12\ H_2O$ 0,005 % 13. Aug. 1906	2 Tagen	Kalisalpeter (Zellsaftblasen) Natriumchlorid Aluminium chloratum Rohrzucker Glyzerin	$^1/_2$ $^1/_4$ $^1/_{10}$ $^2/_3$ $^2/_3$
D $Al_2Cl_6 + 12\ H_2O$ 0,003 % 8. Aug. 1906	2 Tagen	Kalisalpeter (Zellsaftblasen) Calciumnitrat Strontiumnitrat Natriumchlorid Rohrzucker	$^1/_2$ $^1/_2$ $^1/_2$ $^1/_4$ $^1/_3$
E $Al_2(PO_2H_2)_6$ 0,003 % 8. Aug. 1906	2 Tagen	Natriumchlorid Kalisalpeter Calciumnitrat Rohrzucker Glyzerin	$^1/_4$ $^1/_2$ $^1/_2$ $^1/_3$, $^2/_3$ $^2/_3$
F $La_2(NO_3)_6 + 12\ H_2O$ 0,013 % 8. Aug. 1906	1 Tag	Kalisalpeter (Zellsaftblasen) Natriumchlorid Calciumnitrat Rohrzucker Glyzerin	$^1/_2$ $^1/_4$ $^1/_2$ $^1/_3$, $^2/_3$ $^2/_3$
G $Y_2(NO_3)_6 + 12\ H_2O$ 0,011 % 8. Aug. 1906	1 Tag	Kalisalpeter (Zellsaftblasen) Natriumchlorid Rohrzucker Glyzerin Harnstoff	$^1/_4$, $^1/_2$ $^1/_4$ $^1/_3$ $^2/_3$ $^2/_3$

In der Tabelle XII sind die Versuche über die Wiederherstellung der Impermeabilität enthalten. Zur Erklärung greifen wir das Beispiel A heraus. In dem Versuch A der Zusammenstellung XI erhielten wir permeable Spirogyren. Dieses Material wurde für das gleichbenannte Experiment (A) der Tabelle XII verwendet, indem man es aus dem Aluminiumsulfat in eine 0,25 %ige Knopsche Nährlösung brachte. Es verstrichen 3 bzw. 4 Tage, bis die Algen wieder impermeabel waren. Der Versuch A auf Tabelle XII ist somit die Fortsetzung des auch mit A bezeichneten Experimentes auf Tabelle XI. In beiden Fällen sind dieselben plasmolytischen Agentien gebraucht worden. Die Knopsche Nährlösung hat sich als sehr geeignet erwiesen, weshalb sie in den folgenden Versuchen fast ausnahmslos auftritt. Die 1 %ige Stammlösung enthielt in 1 l destill. Wasser 10 g Nährsalze in folgendem Verhältnis: 4 Teile $Ca(NO_3)_2$ = 5,712 g, 1 Teil $MgSO_4$ = 1,428 g, 1 Teil KNO_3 = 1,428 g und 1 Teil KH_2PO_4 = 1,428 g.

2. Wiederherstellung der Impermeabilität. Tab. XII.

Algen des Versuches	In Knopsche Nährlösung	Nach	Wieder Plasmolyse mit	Mol
A 14. Aug. 1906	0,25 %	3 Tagen	Kalisalpeter	1/2
			Aluminium chloratum	1/10
			Aluminium nitr.	1/10
			Rohrzucker	1/3, 2/3
		4 „	Kalisalpeter	1/4
			Natriumchlorid	1/4
B 15. Aug. 1906	0,20 %	4 Tagen	Kalisalpeter	1/2
			Aluminium nitr.	1/10
			Rohrzucker	2/3
			Glyzerin	2/3
		9 „	Natriumchlorid	1/4
C 15. Aug. 1906	0,25 %	2 Tagen	Rohrzucker	2/3
		4 „	Aluminium chloratum	1/10
			Rohrzucker	1/3
			Glyzerin	2/3
		7 „	Natriumchlorid	1/2
		9 „	Natriumchlorid	1/4
D 10. Aug. 1906	0,25 %	2 Tagen	Calciumnitrat	1/2
			Strontiumnitrat	1/2
			Rohrzucker	1/3
		3 „	Kalisalpeter	1/2
		5 „	Natriumchlorid	1/2
		7 „	Natriumchlorid	1/4
E 10. Aug. 1906	0,25 %	2 Tagen	Natriumchlorid	1/2
			Calciumnitrat	1/2
			Rohrzucker	1/3, 2/3
			Glyzerin	2/3
		5 „	Kalisalpeter	1/2
		7 „	Natriumchlorid	1/4
F 9. Aug. 1906	0,25 %	2 Tagen	Calciumnitrat	1/2
			Rohrzucker	1/3, 2/3
			Glyzerin	2/3
		7 „	Natriumchlorid	1/4
			Kalisalpeter	1/4
G 9. Aug. 1906	0,25 %	3 Tagen	Rohrzucker	1/3
			Glyzerin	2/3
			Harnstoff	2/3
		6 „	Kalisalpeter	1/2
			Natriumchlorid	1/4

2. Lemna und Elodea.

Die an den Spirogyren festgestellten Veränderungen gewinnen dadurch an Interesse und Bedeutung, daß es möglich ist, auch an anderen Objekten dieselbe Wirkung der Aluminiumsalze nachzuweisen. Zunächst untersuchte ich das Verhalten von Lemna trisulca und Elodea canadensis.

Beide Pflanzen wurden vor dem Versuche in destilliertem Wasser gewaschen. Die Salzlösungen sind im allgemeinen konzentrierter als bei den vorigen Experimenten. Ich lasse hier die Resultate folgen. Da die Aufstellung der Versuche genau in gleicher Weise durchgeführt wurde, darf ich auf eine weitere Erklärung verzichten.

Bei den Gesimsversuchen erblaßten oft die Chlorophyllkörner der Lemnarandzellen sowohl in den Salzlösungen wie auch im destillierten Wasser. Ich stellte deshalb die in der Tabelle erwähnten Lemnakulturen auf einen Schaft im Zimmer, wo die Entfärbung weniger weit fortschritt.

Lemna. 1. Permeabilität. Tab. XIII.

Lemna in	Während	Keine Plasmolyse	
		mit	Mol
A 16. Aug. 1906 $Al_2(SO_4)_3 + 18\,H_2O$ 0,01 %	4 Tagen	Kalisalpeter Aluminium nitric. Rohrzucker	$^1/_2$ $^1/_{10}$ $^2/_3$
B 7. Sept. 1906 $Al_2(SO_4)_3 + 18\,H_2O$ 0,02 %	1 Tag	Kalisalpeter Glyzerin Rohrzucker	$^1/_1$ $^1/_1$ $^2/_3$
C 16. Aug. 1906 $Al_2(NO_3)_6 + 18\,H_2O$ 0,011 %	2 Tagen	Kalisalpeter Natriumchlorid Rohrzucker Glyzerin	$^1/_2$ $^1/_2$ $^2/_3$ $^2/_3$
D 16. Aug. 1906 $Al_2Cl_6 + 12\,H_2O$ 0,007 %	4 Tagen	Natriumchlorid Aluminium chloratum Glyzerin	$^1/_2$ $^1/_{10}$ $^2/_3$
E 12. Sept. 1906 $Al_2Cl_6 + 12\,H_2O$ 0,0037 %	3 Tagen	Kalisalpeter Glyzerin Rohrzucker	$^1/_1$ $^1/_1$ $^2/_3$
F 20. Aug. 1906 $Al_2(Cr_2O_7)_3$ 0,005 %	1 Tag	Kalisalpeter Rohrzucker Glyzerin	$^1/_2$ $^2/_3$ $^2/_3$
G 21. Aug. 1906 $Al_2(PO_2H_2)_6$ 0,003 %	3 Tagen	Natriumchlorid Rohrzucker Kalisalpeter	$^1/_2$ $^2/_3$ $^1/_2$
H 20. Aug. 1906 $Y_2(NO_3)_6 + 12\,H_2O$ 0,011 %	2 Tagen	Kalisalpeter Bariumchlorid Rohrzucker	$^1/_2$ $^1/_2$ $^2/_3$
I 21. Aug. 1906 $La(NO_3)_6 + 12\,H_2O$ 0,013 %	9 Tagen	Kalisalpeter Bariumchlorid Rohrzucker	$^1/_2$ $^1/_2$ $^2/_3$

2. Wiederherstellung der Impermeabilität. Tab. XIV.

Lemna des Versuches	In Knopsche Nährlösung	Nach	Wieder Plasmolyse	
			mit	Mol
A 20. Aug. 1906	0,2 %	3 Tagen	Kalisalpeter Aluminium nitr. Rohrzucker	$^1/_2$ $^1/_{10}$ $^2/_3$
B 8. Sept. 1906	0,2 %	3 Tagen	Kalisalpeter Glyzerin Rohrzucker	$^1/_1$ $^1/_1$ $^2/_3$
C 18. Aug. 1906	(Leitungswasser)	4 Tagen	Kalisalpeter Natriumchlorid Rohrzucker Glyzerin	$^1/_2$ $^1/_7$ $^2/_3$ $^2/_3$
D 20. Aug. 1906	0,2 %	5 Tagen	Natriumchlorid Aluminium chloratum Glyzerin	$^1/_2$ $^1/_{10}$ $^2/_3$
E 15. Sept. 1906	0,2 %	5 Tagen	Kalisalpeter Glyzerin Rohrzucker	$^1/_1$ $^1/_1$ $^2/_3$
F 21. Aug. 1906	0,2 %	6 Tagen	Kalisalpeter Rohrzucker Glyzerin	$^1/_2$ $^2/_3$ $^2/_3$
G 24. Aug. 1906	0,2 %	5 Tagen	Natriumchlorid Rohrzucker Kalisalpeter	$^1/_2$ $^2/_3$ $^1/_2$
H 22. Aug. 1906	0,2 %	5 Tagen	Kalisalpeter Bariumchlorid Rohrzucker	$^1/_2$ $^1/_2$ $^2/_3$
I 30. Aug. 1906	0,2 %	5 Tagen	Kalisalpeter Bariumchlorid Rohrzucker	$^1/_2$ $^1/_2$ $^2/_3$

Für die Experimente mit Elodea legte ich jeweilen einige Sprossen in die Salzlösung und kontrollierte dann die plasmolytischen Eigenschaften an drei Stellen, indem ich dabei Blättchen von dem Grunde, der Mitte und der Spitze des Sprosses untersuchte.

Elodea. 1. Permeabilität. Tab. XV.

Elodea in	Während	Keine Plasmolyse	
		mit	Mol
A 2. Aug. 1906 $Al_2(SO_4)_3 + 18\,H_2O$ 0,02 %	5 Tagen	Strontiumnitrat Glyzerin Rohrzucker	$^1/_2$ $^2/_3$ $^2/_3$
B 15. Aug. 1906 $Al_2(NO_3)_6 + 18\,H_2O$ 0,022 %	5 Tagen	Natriumchlorid Strontiumnitrat Rohrzucker	$^1/_2$ $^1/_2$ $^2/_3$
C 20. Aug. 1906 $Al_2Cl_6 + 12\,H_2O$ 0,028 %	8 Tagen	Kaliumchlorid Kalisalpeter Glyzerin	$^1/_2$ $^1/_2$ $^2/_3$
D 25. Aug. 1906 $Al_2(Cr_2O_7)_3$ 0,005 %	4 Tagen	Strontiumnitrat Rohrzucker Traubenzucker	$^1/_2$ $^2/_3$ $^2/_3$
E 30. Aug. 1906 $Y_2(NO_3)_6 + 12\,H_2O$ 0,04 %	7 Tagen	Strontiumnitrat Glyzerin Traubenzucker	$^1/_2$ $^2/_3$ $^2/_3$

2. Wiederherstellung der Impermeabilität. Tab. XVI.

Elodea des Versuches	In Knopsche Nährlösung	Nach	Wieder Plasmolyse	
			mit	Mol
A 7. Aug. 1906	(Leitungswasser)	3 Tagen	Strontiumnitrat Glyzerin Rohrzucker	$^1/_2$ $^2/_3$ $^2/_3$
B 20. Aug. 1906	0,25 %	3 Tagen	Natriumchlorid Strontiumnitrat Rohrzucker	$^1/_2$ $^1/_2$ $^2/_3$
C 28. Aug. 1906	0,25 %	4 Tagen	Kaliumchlorid Kalisalpeter Glyzerin	$^1/_2$ $^1/_2$ $^2/_3$
D 29. Aug. 1906	0,25 %	4 Tagen	Strontiumnitrat Rohrzucker Traubenzucker	$^1/_2$ $^2/_3$ $^2/_3$
E 6. Sept. 1906	0,25 %	3 Tagen	Strontiumnitrat Glyzerin Traubenzucker	$^1/_2$ $^2/_3$ $^2/_3$

3. Hydrocharis und Trianea.

Die Wurzelhaare von Hydrocharis morsus ranae und Trianea bogotensis wurden in den Bereich unserer Untersuchungen gezogen, um den Einfluß der Permeabilitätsänderung auf die Protoplasmaströmung zu beobachten. Die bei einer maximalen Temperatur von 23° C ausgeführten Versuche fallen in die Monate Juni und Juli 1906 bzw. 1907. Die Versuchsobjekte waren auf einem Arbeitstisch am Fenster aufge-

stellt. Es wurden jeweils ganze Pflänzchen auf die Aluminiumsalzlösungen gesetzt. Die Hydrocharispflänzchen kultivierte ich stets unter einer Glasglocke, um die Blättchen mittels feuchter Luft vor dem Welken zu schützen.

An den Wurzelhaaren hafteten stets kleine Erdpartikel, deren Entfernung durch Waschen in destilliertem Wasser versucht wurde. Das Reinigen war aber ohne Beschädigung der sehr zarten Wurzelhaare nicht möglich. Ich schnitt deshalb die Wurzeln ab und brachte die Pflänzchen in Leitungswasser, in welchem sich innerhalb einigen Tagen neue, reine Wurzeln entwickelten.

Vorerst soll durch einige Beispiele gezeigt werden, daß auch das Protoplasma der Wurzelhaare von Hydrocharis unter dem Einfluß der Aluminiumsalze die Impermeabilität einbüßt. Darauf folgen die Versuche über die Wiederherstellung der Impermeabilität mittels Leitungswasser.

Hydrocharis. 1. Permeabilität. Tab. XVII.

Hydrocharis in		Während	Keine Plasmolyse	
			mit	Mol
A	9. Juni 1907 $Al_2(SO_4)_3 + 18\,H_2O$ 0,008 %	5 Tagen	Natriumchlorid Kalisalpeter (Zellsaftblasen) Strontiumnitrat Aluminium sulfur. Ammoniumchlorid	$^1/_4$, $^1/_2$, $^1/_1$ $^1/_4$, $^1/_1$ $^1/_2$ $^1/_{10}$ $^1/_3$
B	3. Juli 1907 $Al_2(NO_3)_6 + 18\,H_2O$ 0,004 %	4 Tagen	Natriumchlorid Glyzerin Traubenzucker Strontiumnitrat	$^1/_2$ $^3/_4$ $^1/_2$ $^1/_2$
C	23. Juni 1907 $Al_2(NO_3)_6 + 18\,H_2O$ 0,008 %	2 Tagen	Natriumchlorid Calciumnitrat Kaliumchlorid Traubenzucker Glyzerin	$^1/_4$ $^1/_4$ $^1/_2$ $^1/_4$ $^1/_2$
D	22. Juni 1907 $Al_2Cl_6 + 12\,H_2O$ 0,004 %	6 Tagen	Kalisalpeter (Zellsaftblasen) Bariumchlorid Kaliumchlorid Strontiumnitrat Glyzerin	$^1/_4$, $^1/_2$ $^1/_2$ $^1/_2$ $^1/_2$ $^2/_3$
E	3. Juli 1907 $Al_2(Cr_2O_7)_3$ 0,003 %	4 Tagen	Bariumchlorid Natriumchlorid Traubenzucker	$^1/_2$ $^1/_2$ $^1/_4$

2. Wiederherstellung der Impermeabilität. Tab. XVIII.

Hydrocharis des Versuches	In	Nach	Wieder Plasmolyse	
			mit	Mol
A 14. Juni 1907	Leitungswasser	4 Tagen	Natriumchlorid Kalisalpeter Strontiumnitrat Aluminium sulf. Ammoniumchlorid	$^1/_2$, $^1/_1$ $^1/_4$, $^1/_1$ $^1/_2$ $^1/_{10}$ $^1/_3$
B 7. Juli 1907.	Leitungswasser	5 Tagen	Natriumchlorid Glyzerin Traubenzucker Strontiumnitrat	$^1/_2$ $^2/_3$ $^1/_2$ $^1/_2$
C 25. Juni 1907	Leitungswasser	6 Tagen	Natriumchlorid Calciumnitrat Kaliumchlorid Traubenzucker Glyzerin	$^1/_4$ $^1/_4$ $^1/_2$ $^1/_4$ $^1/_2$
D 28. Juni 1907	Leitungswasser	4 Tagen	Kalisalpeter Bariumchlorid Kaliumchlorid Strontiumnitrat Glyzerin	$^1/_4$, $^1/_1$ $^1/_2$ $^1/_2$ $^1/_2$ $^2/_3$
E 7. Juli 1907	Leitungswasser	7 Tagen	Bariumchlorid Natriumchlorid Traubenzucker	$^1/_2$ $^1/_2$ $^1/_4$

Die Wurzelhaare von Hydrocharis wurden auch noch für die Untersuchungen über die Beziehung zwischen Protoplasmaströmung und Permeabilität verwendet.

Die Ergebnisse werden in einem besonderen Abschnitt (vide III. Hauptteil) erörtert.

Im folgenden stelle ich noch die Versuche mit Trianea in eine Tabelle zusammen. Die Experimente sind unter den bei Hydrocharis erwähnten Bedingungen ausgeführt worden; für die Wiederherstellung der Impermeabilität wurde jedoch statt des Leitungswassers wieder Knopsche Nährlösung benützt.

Trianea. 1. Permeabilität. Tab. XIX.

Trianea in	Während	Keine Plasmolyse	
		mit	Mol
A 11. Aug. 1906 $Al_2(SO_4)_3 + 18\,H_2O$ 0,008 %	4 Tagen	Natriumchlorid Natriumsulfat Glyzerin Kalisalpeter	$^1/_4$ $^1/_3$ $^2/_3$ $^1/_4$

Tab. XIX (Fortsetzung).

Trianea in	Während	Keine Plasmolyse mit	Mol
B 5. Sept. 1906 $Al_2(NO_3)_6 + 18\,H_2O$ 0,008 %	4 Tagen	Kalisalpeter Glyzerin Natriumsulfat	$^1/_4$ $^3/_4$ $^1/_3$
C 11. Aug. 1906 $Al_2Cl_6 + 12\,H_2O$	5 Tagen	Kalisalpeter Glyzerin Rohrzucker Natriumchlorid	$^1/_4$ $^1/_2$ $^1/_3$ $^1/_4$
D 21. Mai 1907 $Al_2(Cr_2O_7)_3$ 0,003 %	4 Tagen	Kalisalpeter Natriumchlorid Glyzerin	$^1/_4$ $^1/_4$ $^3/_4$
E 21. Mai 1907 $La_2(NO_3)_6 + 12\,H_2O$ 0,013 %	4 Tagen	Kalisalpeter Kochsalz Glyzerin	$^1/_4$ $^1/_4$ $^2/_3$

2. Wiederherstellung der Impermeabilität. Tab. XX.

Trianea des Versuches	In Knopscher Nährlösung	Nach	Wieder Plasmolyse mit	Mol
A 15. Aug. 1906	0,2 %	3 Tagen 3 „ 3 „ 7 „	Natriumchlorid Natriumsulfat Glyzerin Kalisalpeter	$^1/_4$ $^1/_3$ $^2/_3$ $^1/_4$
B 9. Sept. 1906	0,2 %	6 Tagen 7 „	Natriumchlorid Natriumsulfat Glyzerin Kalisalpeter	$^1/_4$ $^1/_3$ $^2/_3$ $^1/_4$
C 16. Aug. 1906	0,2 %	4 Tagen 5 „	Kalisalpeter Glyzerin Rohrzucker Natriumchlorid	$^1/_4$ $^1/_2$ $^1/_3$ $^1/_4$
D 25. Mai 1907	0,2 %	7 Tagen	Kalisalpeter Natriumchlorid Glyzerin	$^1/_4$ $^1/_4$ $^2/_3$
E 25. Mai 1907	0,2 %	7 Tagen	Kalisalpeter Natriumchlorid Glyzerin	$^1/_4$ $^1/_4$ $^2/_3$

4. Kontrollversuche.

Sämtlichen Entstärkungs- und Permeabilitätsversuchen wurde stets eine Kotrolle mit destilliertem Wasser zu Seite gestellt. Außerdem prüfte ich noch bei allen Versuchsobjekten die Wirkung einer Menge verschiedener Salze in differenten Konzentrationen (Brechweinstein, Kalialaun, schwefelsaures Magnesium, borsaures und kohlensaures Natron, kohlensaures Kali usw.). Keine Verbindung zeigte ein gleiches Verhalten

gegenüber dem Protoplast wie die Aluminiumsalze. Es seien an dieser Stelle einige Kontrollversuche für Lemna trisulca und Spirogyra notiert. Bei den anderen Untersuchungsobjekten verzichtete ich auf ein derartiges Verzeichnis, um Wiederholungen zu vermeiden.

a) Lemna trisulca. Tab. XXI.

Lemna trisulca in	Während	Noch Plasmolyse mit
$MgSO_4 + 7\,H_2O$ 0,0037 % aequim. 0,01 % $Al_2(SO_4)_3$	2 Tagen	Natriumchlorid $^1/_2$, Rohrzucker $^2/_3$
	4 „	Strontiumchlorid $^1/_2$
	7 „	Calciumnitrat $^1/_2$
	8 „	Glyzerin $^2/_3$
	10 „	Bariumchlorid $^1/_2$, Rohrzucker $^2/_3$
	13 „	Kalisalpeter $^1/_2$
$MgSO_4 + 7\,H_2O$ 0,01 % aequim. 0,027 % $Al_2(SO_4)_3$	2 Tagen	Natriumchlorid $^1/_2$, Strontiumnitrat $^1/_2$
	4 „	Kaliumchlorid $^1/_2$, Rohrzucker $^2/_3$
	9 „	Al. chloratum $^1/_{10}$ (part.), Glyzerin $^2/_3$
	13 „	Bariumchlorid $^1/_2$
	15 „	Kalisalpeter $^1/_2$
$AlK(SO_4)_2 + 12\,H_2O$ 0,007 % aequim. 0,01 % $Al_2(SO_4)_3$	7 Tagen	Strontiumnitrat $^1/_2$ Kaliumchlorid $^1/_2$
$Na_2B_4O_7 + 10\,H_2O$ 0,01 % aequimol. $2 \times 0{,}01$ % $Al_2(SO_4)_3$	2 Tagen	Al. chloratum $^1/_{10}$ (part.), Kalisalpeter $^1/_2$
	4 „	Kaliumchlorid $^1/_2$, Rohrzucker $^2/_3$
	7 „	Kaliumchlorid $^1/_2$, Glyzerin $^2/_3$
	8 „	Calciumnitrat $^1/_2$, Rohrzucker $^2/_3$
	11 „	Kaliumnitrat $^1/_2$, Al. sulf. $^1/_{10}$ (part.)
	14 „	Kalisalpeter $^1/_2$, Rohrzucker $^2/_3$
	15 „	Traubenzucker $^2/_3$
$Na_2CO_3 + 10\,H_2O$ 0,01 % aequimol. $2^1/_2 \times 0{,}01$ % $Al_2(SO_4)_3$	2 Tagen	Kaliumchlorid $^1/_2$, Traubenzucker $^2/_3$
	6 „	Glyzerin $^1/_1$
	8 „	Kalisalpeter $^1/_2$, Traubenzucker $^2/_3$
	11 „	Kaliumchlorid $^1/_2$
	14 „	Rohrzucker $^2/_3$, Kalisalpeter $^1/_2$
K_2CO_3 0,01 % aequimol. $5 \times 0{,}01$ % $Al_2(SO_4)_3$	4 Tagen	Calciumnitrat $^1/_2$
	6 „	Glyzerin $^1/_2$
	8 „	Kaliumchlorid $^1/_2$
	11 „	Rohrzucker $^2/_3$
	14 „	Kalisalpeter $^1/_2$
Destill. Wasser	15 Tagen	Mit den verschiedenen Agentien

Die Objekte bewahrten in diesen Agentien ihr frisches Aussehen während der ganzen Versuchsdauer. Es trat auch beim Vergleich mit dem Material aus dem destillierten Wasser kein Unterschied hervor. — Im Folgenden seien noch die Kontrollversuche mit Brechweinstein und Schwefelsäure an Spirogyra dargestellt.

b) Spirogyra in Brechweinstein.

1. Versuch. Spirogyra in 0,01 % Brechweinstein [0,0099 % ($KSbO \cdot C_4H_4O_6)H_2O$ aequimol. 0,01 % $Al_2(SO_4)_3$]: Nach 11 Tagen noch normale Plasmolyse mit $Sr(NO_3)_2$ $^1/_2$ Mol.
2. Versuch. Spirogyra in 0,02 % Brechweinstein. Nach 9 Tagen normale Plasmolyse mit $Sr(NO_3)_2$ $^1/_2$ Mol. In beiden Fällen zeigten die Algen gleiches Aussehen wie frische Spirogyren.
3. Versuch. Die Konzentration des Brechweinsteins erfuhr während des 3. Versuches (April 1907) eine allmähliche Steigerung. Die Spirogyren lagen

vom	17. IV.	vorm.	11	Uhr	bis	17. IV.	nachm.	4	Uhr	in 0,005 %	Brechweinstein,
„	17. IV.	nachm.	4	„	„	18. IV.	„	6	„	„ 0,001 %	„
„	18. IV.	„	6	„	„	19. IV.	vorm.	11	„	„ 0,02 %	„
„	19. IV.	vorm.	11	„	„	20. IV.	„	10	„	„ 0,025 %	„
„	20. IV.	„	10	„	„	20. IV.	nachm.	5	„	„ 0,03 %	„
„	20. IV.	nachm.	5	„	„	25. IV.	„	7	„	„ 0,035 %	„

Am 21. April vorm. 11 Uhr plasmolysierten die Spirogyren noch normal. 4 Tage später waren $^7/_{10}$ der Fäden tot; die übrigen Spirogyren konnten noch plasmolysiert werden.

c) Spirogyra mit Schwefelsäure.

Wir verwendeten konzentrierte, für analytische Zwecke hergestellte Schwefelsäure und ließen diese in fünf verschiedenen Verdünnungen auf die Spirogyren einwirken.

0,005 Vol.-Proz.: Sämtliche Spirogyren waren nach 1 Tage tot.

0,001 Vol.-Proz.: Algen nach 2 Tagen tot.

0,0005 Vol.-Proz.: Nach 3 Tagen 80 % tot, der Rest zeigt normale Plasmolyse.

0,0001 Vol.-Proz.: Nach 3 Tagen 75 % tot, bei den übrigen Fäden normale Plasmolyse.

0,00005 Vol.-Proz.: Nach 4 Tagen überall normale Plasmolyse. Nach 7 Tagen 90 % der Fäden tot.

Wie diese Aufstellung zeigt, vermag auch die Schwefelsäure keine Permeabilität hervorzurufen.

---

5. Zellsaftblasen.

Es sei an dieser Stelle noch ein Wort über die bei meinen plasmolytischen Versuchen beobachteten Zellsaftblasen gestattet. Man ersieht aus den Permeabilitätstabellen des zweiten Abschnittes, daß diese Blasen nur ausnahmsweise entstehen. Sie zeigen sich beinahe immer, wenn man der mit einem Aluminiumsalz behandelten Zelle Kalisalpeter

zusetzt. Bei Anwendung anderer plasmolytischer Agentien treten sie jedoch nur selten auf. Es vermögen also nicht alle Stoffe sofort auch durch die innere Plasmahaut einzudringen, und zwar tritt die größere Resistenz der Vakuolenhaut vorwiegend gegenüber dem Kalisalpeter auf.

Sofern in dem Versuchsmaterial Blasen erscheinen, weisen die Zellen gewöhnlich zwei gleich große, kugelförmige, in seltenen Fällen auch ellipsoidische Gebilde auf, die scharf begrenzt sind und schon bei schwacher Vergrößerung deutlich hervortreten. Sie liegen in der Längsachse der Zelle, gegen die beiden Enden verschoben. Ausnahmsweise beobachtet man eine unsymmetrische Anordnung. Ich habe auch Zellen mit drei und mehr Zellsaftblasen getroffen; diese sind dann durchweg kleiner, oder es kommen eine große und mehrere kleine vor.

Die Bildung der Blasen beginnt entweder sofort oder nach wenigen Minuten, nachdem das Reagens mit der Zelle in Berührung gekommen ist. Der Zellsaft wird derart komprimiert, daß in der Mitte der Spirogyrazelle eine anfänglich nur schwache Einschnürung entsteht. Dieser Vorgang schreitet dann fort und endigt mit einer Teilung der ursprünglichen Vakuole in zwei Blasen. Dabei tritt die Vakuolenhaut außer in der Einschnürung noch an den beiden Enden der Zelle zurück, um sich immer mehr der Kugelgestalt zu nähern.

Wenn wir die Zellen mit destilliertem Wasser auswaschen, so werden die Blasen wieder größer. Die Vakuolenhaut dehnt sich aus, indem sie sich gegen die Membran zurückzieht, die Blasen verschwinden. Sofern man die Zelle in der plasmolytischen Lösung beläßt, so dehnen sich die Vakuolen nur sehr langsam aus.

6. Plasmolytisches Verhalten von Aluminiumpflanzen.

Bekanntlich enthält die Asche einiger Lycopodinae sehr viel Aluminium. Diese Pflanzen stehen somit normalerweise unter dem Einfluß von Aluminiumsalzlösungen, also unter ähnlichen Verhältnissen wie unsere Versuchsobjekte. Man könnte deshalb zu der Annahme neigen, daß auch das Protoplasma dieser Aluminiumpflanzen permeabel sei. Plasmolytische Untersuchungen mit den Reagentien Kalisalpeter ($^1/_2$ Mol) und Strontiumnitrat ($^1/_2$ Mol) an Blatt-, Stengel- und Wurzelzellen von Lycopodium clavatum, L. inundatum, L. alpinum, L. annontinum und Selaginella Martensii zeigten jedoch normale Kontraktion des Zellinnern. Die Plasmolyse begann nach 2 bis 6 Minuten und war durchschnittlich nach 20 Minuten beendet.

Offenbar bietet der natürliche Nährboden jenen Pflanzen die Aluminiumsalze in zu schwachen Konzentrationen. Wie bereits in der

Einleitung dargelegt wurde, enthalten auch die Mineralquellen die Aluminiumsalze in Konzentrationen, die im allgemeinen weit unter denjenigen stehen, die wir für unsere Versuche verwendeten.

Die für diese Versuche verwendeten Lycopodien stammten vom Feldberg und wurden in ganz frischem Zustand untersucht.

III. Permeabilität und Protoplasmaströmung.

Bei Anlaß der im 3. Teil des II. Abschnittes erwähnten Permeabilitätsversuche an Hydrocharis und Trianea wurde beobachtet, daß die Protoplasmaströmung in den permeabeln Wurzelhaaren fortbesteht. Es wurden daher noch Untersuchungen über eventuelle Geschwindigkeitsänderung während der Überführung der Zellen in den permeabeln Zustand angestellt, deren Ergebnisse hier folgen.

Die Protoplasmaströmung wurde an den Wurzelhaaren von Hydrocharis gemessen. Da die Plasmaströme in den älteren Wurzelhaaren bedeutend schneller fließen als in den jüngeren, wurden stets gleichalterige Objekte zum Vergleich herangezogen. Das jeweilen aus der mittleren Region der Wurzel geschnittene Stück wurde in der Lösung des Aluminiumsalzes sehr sorgfältig auf das Objektgläschen gezogen, um eine Schnelligkeitsänderung zu verhindern. Temperatur, Licht und Druck des Deckglases fallen bei unseren vergleichenden Versuchen nicht in Betracht.

Al chloratum. Ganzes Hydrocharispflänzchen 4 Tage in Al chloratum 0,003 %. Hierauf Messung der Geschwindigkeit an zehn Wurzelhaaren. Durchschnittliche Geschwindigkeit 0,011 mm sec. Das Protoplasma ist noch impermeabel; nach Zusatz von Strontiumnitrat $^1/_2$ Mol wird die Strömung sofort langsamer und nach 2 Minuten ist bereits totale Plasmolyse eingetreten.

Das gleiche Versuchsobjekt 3 Tage später: mittlere Geschwindigkeit 0,010 mm sec, Protoplasma permeabel, keine Plasmolyse mit Strontiumnitrat $^1/_2$ Mol und Kaliumchlorid $^1/_2$ Mol.

Zwei andere Wurzeln des gleichen Pflänzchens: durchschnittliche Geschwindigkeit in den Wurzelhaaren 0,012 mm sec. Das Protoplasma ist auch permeabel; denn mit Kalisalpeter $^1/_4$ und $^1/_1$ Mol entsteht keine Plasmolyse, bei Zusatz von $^1/_4$ Mol KNO_3 hört die Strömung nach 8 Minuten auf, bei 1 Mol beinahe plötzlich.

Al nitricum. Hydrocharispflänzchen vier Tage in 0,004 %iger Lösung. Mittlere Geschwindigkeit in drei Wurzeln 0,014 mm sec. Protoplasma permeabel. Keine Plasmolyse mit

Kalisalpeter	$^1/_2$ Mol,	Strömung	hört	auf	nach	3	Minuten,
Natriumkarbonat	$^1/_2$ „	„	„	„	„	5	„
Kochsalz	$^1/_2$ „	„	„	„	„	1	„
Traubenzucker	$^1/_4$ „	„	noch vorhanden nach $^3/_4$ Std.				

Die Strömung kehrt nicht mehr zurück, wenn die Präparate mit destilliertem Wasser ausgewaschen werden.

Destilliertes Wasser. Die Wurzelhaare eines Hydrocharispflänzchens, das auch vier Tage in destilliertem Wasser lag, plasmolysierten noch normal und wiesen eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 0,015 mm sec. auf.

Die Geschwindigkeit der Plasmaströmung nimmt also infolge der Einwirkung der Aluminiumsalze um einen sehr kleinen Betrag ab, der Unterschied zwischen Al nitricum und destilliertem Wasser ist bloß 0,001 mm sec, d. h. $^1/_{15}$ der normalen Geschwindigkeit.

Die Mechanik der Protoplasmabewegungen ist noch unaufgeklärt. Die Meinungen betreffs der Faktoren, die diese Bewegungen hervorrufen, gehen, wie A. J. Ewart in seiner Abhandlung „On the physics and physiology of protoplasmic streaming in plants“ einläßlich zeigt, ebenfalls weit auseinander. Gerade deshalb scheint aber die oben festgestellte Tatsache, daß trotz der Permeabilität die Strömung fortbesteht, von Wichtigkeit zu sein. Allerdings kann diese Erscheinung nicht ohne weitere Untersuchungen eine Entscheidung in der schwierigen Frage der Protoplasmabewegungen herbeiführen; immerhin darf sie als ein nicht unbedeutender Beitrag zu der Erforschung der Protoplasmaströmung betrachtet werden.

IV. Versuche über den Nachweis des Eindringens der Stoffe nach der Behandlung mit Aluminiumsalzen.

Im vorhergehenden wurde gezeigt, daß die Zellen nach der Behandlung mit verschiedenen Aluminiumsalzen nicht mehr plasmolysieren. Die plasmolysierenden Substanzen vermögen auch in hohen Konzentrationen keine Plasmolyse hervorzurufen. Damit ist aber ein indirekter Beweis für die Permeabilität des Protoplasmas erbracht. Da die Zellen bei unseren Versuchen ihre volle Turgeszenz behalten, so kann jedoch das Protoplasma durch die Aluminiumbehandlung nicht auch extrameabel geworden sein für diejenigen Stoffe, welche die Turgeszenz hervorrufen.

Es drängt sich nun die Frage auf, ob es möglich sei, den eingedrungenen Stoff auch direkt mittels eines Reaktionsverfahrens nachzuweisen.

Geht man an die Lösung dieser Frage, so muß man beachten, daß die anzuwendende Reaktion äußerst empfindlich sein muß, da es sich nur um minimale Mengen handelt.

Eine Spirogyrazelle von 174 μ Länge und 29 μ Durchmesser hat einen Inhalt von 115000 μ^3. Nehmen wir an, der Zellraum sei vollständig mit einer 10 %igen Salpeterlösung erfolgt, so ergibt eine einfache Berechnung für den darin enthaltenen Salpeter ein Gewicht von 0,000000011 g oder 0,000011 mg. Das Gewicht des Salpeters in einem 1875 μ langem und 54 μ dicken Wurzelhaar von Trianea beträgt 0,0000004 g oder 0,0004 mg.

Diese Zahlen müssen noch bedeutend reduziert werden, wenn wir ein der Wirklichkeit entsprechendes Resultat haben wollen, da wir bei unseren Berechnungen von der Annahme ausgingen, der Zellraum enthalte nur Salpeterlösung.

Für den direkten Nachweis der eingedrungenen Stoffe verwendete ich zuerst Wurzelhaare von Hydrocharis und Trianea, die in üblicher Weise mit Aluminiumsulfat behandelt waren. Als nachzuweisende Substanzen wurden Kalisalpeter, Calciumnitrat, Natrium- und Magnesiumsulfat benutzt und zwar in Konzentrationen von $^1/_{20}$ und $^1/_{10}$ Mol.

Die Wurzelhaare befanden sich während 15 Minuten, 30 Minuten, in einigen Fällen noch länger in den Salzlösungen. Die angewendeten Reaktionen seien im folgenden in Kürze angegeben.

KNO_3 1. K mit Platinchlorid (noch 0,5 Milliog. K nachweisbar).
2. NO_3 mit Diphenylamin + Schwefelsäure.

$Ca(NO_3)_2$ 3. Ca mit Natriumsulfat (bis 0,04 Milliog. Ca nachweisbar).
4. Na_3 mit Diphenylamin + Schwefelsäure.

Na_2SO_4 5. SO_4 mit Bariumchlorid.

$MgSO_4$ 6. Mg mit Natriumphosphat + Ammoniak (noch nachweisbar 0,0012 Milliog. Mg).
7. SO_4 mit Bariumchlorid.

Keine dieser sieben Reaktionen wies einen Niederschlag bzw. eine Färbung im Zellinnern auf. Selbst farbige, deutliche Niederschläge wie das gelbe kristallinische Kaliumplatinchlorid der ersten Reaktion konnten im Innern der Zelle nicht beobachtet werden. An den Wurzelhaaren entstanden allerdings oft schwache Niederschläge, trotzdem ich die Haare vor Zusatz des Reagens zwei und dreimal in destilliertem Wasser wusch; entweder haftete immer noch Salzlösung an den Haaren oder die Zellhaut war von den gelösten Substanzen imbibiert.

Herr Prof. Dr. H. Kreis machte mich auf die für den Nachweis von Salpeter außerordentlich empfindliche Nitronreaktion aufmerksam. Eine 10 %ige Lösung von Nitron (Diphenyl-endanilo-dihydrotriazol) in 5 %iger Essigsäure fällt nämlich aus dem Salpeter noch in einer Verdünnung von 1 : 133000 Nitronnitrat, welches in weißen Nadeln krystallisiert (Paal pag. 410 und Busch pag. 4055).

Permeable Spirogyrafäden wurden in 2,5 %ige Kalisalpeterlösung übertragen, dann dreimal in destilliertem Wasser ausgewaschen; hierauf folgte auf dem Objektglas unter dem Mikroskop Zusatz von Nitronlösung. An der Oberfläche traten weiße Nadeln auf; im Zellinnern, sowohl im Protoplast wie auch im Zellsaft, blieb jedoch der Niederschlag aus. Wird der Algenfaden direkt aus dem Salpeterbad mit Nitron behandelt, so entsteht in der Flüssigkeit außerhalb der Zellen ein derart dichter Niederschlag, daß die Fäden unsichtbar werden. Wenn man dann die Spirogyren mit destilliertem Wasser von diesem Nitronnitrat befreit, so kann man das Innere der Zellen wieder leicht mit dem Mikroskop untersuchen. Es gelingt jedoch nicht, die Anwesenheit von Kristallnadeln im Innern der Zelle festzustellen.

Für die Erklärung der negativen Ergebnisse der vorhergehenden Versuche müssen wir zwei Möglichkeiten berücksichtigen: Entweder werden die Reagentien so fest an das Protoplasma gebunden, daß man sie nicht mehr nachweisen kann; oder die Quantität des im Zellinnern nachzuweisenden Stoffes ist zu gering.

Betreffs der ersten möglichen Ursache ist aber noch beizufügen, daß die Versuche auch dann ohne Erfolg bleiben, wenn man die Algen aus dem Kalisalpeter zuerst in Alkohol fixiert und erst nachher mit Nitron behandelt.

In Bezug auf die Quantität der Substanz ist zu erwähnen, daß zweifellos beim Zusatz des Reagens ein Teil des eingedrungenen Stoffes in die die Zelle umgebende Flüssigkeit austritt. Ich versuchte nun noch, den Salpeter in größerer Menge in dem Protoplasma anzuhäufen, indem ich die Konzentration der Salpeterlösung auf 1 Mol erhöhte und außerdem diese Lösung vor der Untersuchung der Algen eintrocknen ließ. Die Versuche wurden in verschiedener Weise ausgeführt:

1. Nitron direkt zu den mit Aluminium behandelten Algen gebracht.
2. Algen zuerst in KNO_3 $^1/_1$ Mol, dann dreimal ausgewaschen und nachher Nitron zugesetzt.
3. Algen in KNO_3 $^1/_1$ Mol, dann sofort Nitron zugesetzt.

In keinem Falle konnte ich in den Zellen die Nadeln des Nitronsalpeters wahrnehmen. Selbst dann war kein Erfolg zu verzeichnen, wenn noch konzentriertere Kalisalpeterlösungen angewendet wurden.

Auch Spirogyren, die in 20 %iger Kalisalpeterlösung gekocht wurden, zeigten nach Zusatz von Nitron in dem Protoplast keinen Niederschlag.

Es folgt also unzweideutig, daß der Nachweis der eingedrungenen Substanzen deshalb nicht möglich ist, weil nur sehr wenig Stoff in die Zelle übergeht und dieser zudem bei Zusatz eines Reagens teilweise wieder hinauswandert, so daß die absolute Menge der noch im Innern der Zelle bleibenden Substanz zu klein ist, um eine sichtbare Reaktion hervorzurufen.

Eine spektralanalytische Untersuchung ist schon aus dem Grunde nicht zweckmäßig, weil sie uns im günstigsten Falle doch keine Antwort geben könnte auf die Frage, in welchem Teile der Zelle der Stoff eingelagert ist, ob Anhaften an der Zelle, Imbibition der Zellhaut oder wirkliches Eindringen vorliegt.

J. M. Janse (pag. 349) hat bei Versuchen über Ermittelung der Turgorkraft u. a. auch bei den Spirogyren beobachtet, daß der Salpeter in die Vakuolen eindringt, wenn die Zellen hinreichend lange in der Salpeterlösung liegen. Zum Nachweis des Salpeters verwendet er Diphenylamin. Nach der Berührung des Reagens mit dem Algenfaden trat in einer geringen Entfernung neben diesem ein blauer Streifen auf. Ich habe diese Blaufärbung in meinen Versuchen mit Diphenylamin auch angetroffen, möchte sie aber dennoch nicht als überzeugenden Beweis für das Eindringen des Salpeters aufgefaßt wissen und zwar hauptsächlich deshalb nicht, weil die Reaktion nicht im Protoplast entsteht.

V. Versuch einer Erklärung.

Im experimentellen Teil dieser Abhandlung sind zweierlei Wirkungen der Aluminiumsalze zu Tage getreten: Entstärkung und Permeabilität. Es soll nun untersucht werden, ob Erklärungen für diese Prozesse möglich sind.

I. Entstärkung im Licht.

Es ist zuerst zu entscheiden, ob ein Mangel an Kohlensäure die Bildung des Assimilationsproduktes verhindert. Diese Möglichkeit ist hier ausgeschlossen, da die Aluminiumsalzlösungen jeweilen in Intervallen von 1 oder 2 Tagen geschüttelt wurden, um für ausreichende Zufuhr von Kohlensäure zu sorgen. Außerdem müßte, wenn Kohlen-

säuremangel in Betracht käme, das Material im destillierten Wasser den gleichen Entstärkungsgrad aufweisen.

Ferner ist nicht anzunehmen, daß die Kohlensäure nicht mehr in die Zellen einzudringen vermag.

Auf die Faktoren, die infolge Lichtmangels die Assimilation verhindern könnten, müssen wir keine Rücksicht nehmen, da unsere Versuche am Licht ausgeführt wurden.

Im weiteren ist auf die Wirkung der Diastase hinzuweisen. Effronts bereits im Jahre 1892 angestellten Untersuchungen lassen es wahrscheinlich erscheinen, daß die Wirkung der Diastase wesentlich beeinflußt wird durch Veränderungen des Mediums, in welchem sie wirkt. Nach Effront erhöhen eine Anzahl von Körpern die Wirksamkeit der Diastase, z. B. Aluminiumsalze, Phosphorsäureverbindungen und verschiedene Amidkörper.

Es ist von vornherein die Möglichkeit nicht zurückzuweisen, daß die Aluminiumsalze die Wirkung des Enzyms direkt beschleunigen und dadurch die Entstärkung hervorrufen könnten.

Hingegen neige ich doch mehr zu der Annahme, daß die durch die Aluminiumsalze hervorgerufene Permeabilität des Protoplasmas in dem Sinn die wesentlichste Ursache für die Entstärkung repräsentiert, daß der Zucker infolge der Permeabilität ausgewaschen wird. Die bereits gebildete Stärke wird wegen dieser schnellen Abfuhr des Zuckers rascher und vollständiger aufgelöst; neue Stärke kann nicht mehr gebildet werden, weil der Zucker vorher abgeleitet wird. Ein direkter Beweis für die geschilderte Wirkung der Aluminiumsalze konnte allerdings nicht erbracht werden, da es nicht gelang, den Zucker mit Fehlingscher Lösung nachzuweisen. Hingegen findet diese Annahme zum Teil eine Bestätigung durch folgende von Green erwähnten Beobachtungen.

Green schreibt: „Mit fortschreitender Verzuckerung verlangsamt sich der Prozeß immer mehr. Dies ist zweifellos auf eine hemmende Wirkung der Verzuckerungsprodukte zurückzuführen. Sheridam Lea hat diese Frage aufgeklärt, indem er die Verzuckerung durchführte, einerseits in Flaschen, andererseits in Dialysierröhren, die in einem fließenden Wasserstrom aufgehängt waren. Im ersten Falle stellten sich die auch von andern Forschern beobachteten Verzuckerungsschwierigkeiten ein, im letzteren wurde fast alle Stärke in Zucker verwandelt. Lea behauptet, daß unter diesen Bedingungen der Verzuckerungsprozeß ein intensiverer ist, es wird mehr Stärke in Zucker übergeführt und weniger Dextrin gebildet als wenn unter sonst gleichen Verhältnissen die Verzuckerungsprodukte nicht entfernt werden.“

Ähnlich drückt sich auch Puriewitsch (pag. 33) aus: „Eine äußere Bedingung für die vollkommene selbsttätige Entleerung der Reservestoffbehälter ist eine genügend große Wassermenge, in welche die bei der Auflösung der Reservestoffe entstandenen Produkte übertreten können."

Die angeführten Tatsachen reichen noch nicht hin zur Aufstellung einer Hypothese über die Entstärkung. Die Untersuchungen müßten noch auf eine größere Menge pflanzlicher Objekte ausgedehnt werden. Hingegen scheint mir doch die Erklärung der Entstärkung auf Grund der Permeabilität große Berechtigung zu haben. Es spricht dafür auch der Umstand, daß die Entstärkung allgemein erst eintritt, wenn die Permeabilität bereits festgestellt werden kann.

Für die Entscheidung in dieser Frage ist noch der Umstand von Wichtigkeit, daß die Assimilation in den sich entstärkenden Objekten nicht unterbrochen wird. Die Assimilationsprobe wurde anfangs August mit Elodea und Spirogyra im direkten Sonnenlicht angestellt. Zwecks Förderung der Assimilation wurde nach Entstärkung der Objekte Kohlensäure in die Salzlösungen geleitet, nachdem Vorversuche gezeigt hatten, daß die Kohlensäure selbst in 0,1 %igen Lösungen der verwendeten Aluminiumsalze keinen Niederschlag erzeugt.

Die Resultate von Elodea canadensis sind hier zusammengestellt.

5. Aug. 1907. Mittl. Temp. 24° C.

Elodea	5	Tage	in	0,02 %	Al. sulf.:	61	Blasen	per	Min.
„	5	„	„	0,02 %	„ nitric.:	102	„	„	„
„	7	„	„	0,02 %	„ chloratum:	87	„	„	„
„	4	„	„	0,006 %	„ bichrom.	53	„	„	„

Die Sprosse wurden nach der Kohlensäurezuleitung unten abgeschnitten. Die oben angegebene Anzahl der aufsteigenden Bläschen stellt das durchschnittliche Ergebnis der an fünf verschiedenen Sprossen vorgenommenen Zählungen dar. Das Kontrollmaterial aus destilliertem Wasser erzeugte per Minute 150 Bläschen.

Die Entwicklung der Bläschen begann auch bei der mit irgend einem der angegebenen Aluminiumsalze behandelten Elodea sofort, nachdem das Objekt an das direkte Sonnenlicht gestellt worden war. Die Intensität der Assimilation wächst dann rasch bis zum Maximum an. Die Zahlen der Tabelle sind das Resultat einer nach 20 Minuten stattgefundenen Zählung. Drei Stunden später assimilierte nur noch das frische Material.

Auch bei der Spirogyra wird die Assimilation nicht vollständig sistiert. Allerdings tritt, wie die folgenden Versuche zeigen, während der Behandlung mit den Aluminiumsalzen eine bedeutende Hemmung dieses Vorganges ein.

Die Tabelle XXII sagt uns, daß in der 0,005 %igen Lösung von Aluminiumsulfat innerhalb vier Tagen 61 % der Algenfäden entstärkt wurden, 10 % zeigten bloß Stärkeabnahme, 11 % waren unverändert und 18 % der Spirogyren sind während des Versuches zugrunde gegangen. Nach Verfluß dieser Zeit leitete man Kohlensäure in die Lösung; hierauf wurden die Algen in das direkte Sonnenlicht gestellt. Die Bildung von Bläschen beginnt nach 35 Minuten und hört nach zwei Stunden auf. Es entwickeln sich aber bedeutend weniger Blasen als beim frischen Kontrollobjekt, so daß die Assimilation als sehr schwach bezeichnet werden muß. Die Kontrollalgen des destillierten Wassers assimilierten noch lebhaft.

5. Aug. 1907. Tab. XXII.

Salz	Zeit	Keine Stärke	Stärke-abnahme	Unverändert	Tot	Assimilation		
						Beginn nach	Ende nach	Intensität
Al. sulf. 0,005 % . . .	4 Tage	61	10	11	18	35 Min.	2 Stdn.	sehr schwach
Al. bichr. 0,003 % . .	3 „	41	13	22	24	40 „	$1^1/_2$ „	„ „
Al. nitr. 0,005 % . .	5 „	63	8	18	11	35 „	$2^1/_2$ „	schwach
Al. chlorat. 0,003 % .	5 „	65	4	17	14	35 „	$1^1/_4$ „	„
Destill. Wasser . . .	5 „	8	—	87	5	3 „	—	lebhaft

2. Permeabilität.

Daß die Impermeabilität keine konstante Funktion des Protoplasmas sein kann, geht aus früheren Beobachtungen verschiedener Forscher hervor.

Effront (pag. 77) berichtet, daß die im besten Zustand sich befindende Aspergilluszelle für die Invertase impermeabel ist. Das Protoplasma wird aber für den gleichen Stoff permeabel, sobald man dem Pilzmycel die Nahrung (Rohrzucker) entzieht oder wenn man die Mycelien dem Luftmangel aussetzt.

Ein anderes von de Vries (pag. 589) erwähntes Beispiel: Die Zellen von Tradescantia werden von 0,42 Mol Salpeter oder Kochsalz plasmolysiert.

Nachdem Ammoniak (0,0425 %) einige Zeit auf die Zellen gewirkt hatte, trat keine Plasmolyse mehr ein. Die Impermeabilität wurde für Kochsalz und Salpeter aufgehoben; hingegen bestand sie noch fort für den im Zellsaft gelösten Farbstoff.

Beim Choleravibrio hat A. Fischer (II, p. 28) folgende Schwankungen beobachtet: „Zwei gleich alte und bei gleicher Temperatur

gezüchtete Parallelkulturen von Choleravibrionen, die auf vollkommen gleichem Agar gewachsen waren, nur mit dem Unterschied, daß der eine Agar einen Zusatz von 1,17 % Kochsalz erhalten hatte, besaßen eine auffallend verschiedene Impermeabilität und zwar war diese auf dem osmotisch stärkeren Agar ansehnlich gesteigert."

Klebs (I, pag. 186) stellte bei Anlaß seiner Untersuchungen über Zellhautbildung und Wachstum an Zygnema fest, daß diese Vorgänge namentlich in solchen Zuckerkulturen eintraten, die dem Licht ausgesetzt waren. Es gelang ihm nun, den Einfluß des Lichtes durch Zusatz von 0,05—0,1 % Eisenweinstein zu der Zuckerlösung zu ersetzen. Klebs nimmt an, daß die Hauptwirkung des Eisenweinsteins darin bestehe, die Hautschicht des Protoplasten permeabel zu machen für den Durchtritt des Zuckers, weil in den Zuckereisenweinsteinkulturen der Zucker unzweifelhaft in die Zelle eingedrungen sein muß. Er knüpft an diese Beobachtung bereits die Frage, ob die Permabilität nicht zeitweilig durch gewisse Stoffe so verändert werden kann, daß vorher nicht diffusionsfähige Substanzen in das Protoplasma übertreten können.

Bei Anlaß von Experimenten zur Ermittlung der Konzentration der plasmolytischen Grenzlösung beobachtete Janse (pag. 335), daß die benützten Meeresalgen für Kalisalpeter und andere Stoffe permeabel waren. Nach ihm soll Kalisalpeter auch in die Zellen der Spirogyren eindringen, wenn diese Algen einige Tage in der Salpeterlösung liegen (Janse pag. 349). Wir haben allerdings bereits in einem vorhergehenden Abschnitt den Nachweis des Salpeters mit Diphenylamin als nicht ganz einwandfrei bezeichnet. Es kann ferner noch die Einwendung gemacht werden, daß die Vergrößerung der Turgorkraft, auf die er seine Annahme stützt, auf neuen, während des Versuches entstehenden osmotischen Kräften beruhen könnte.

Für meine Versuche kann dieser Einwand nicht ins Feld geführt werden, weil für die plasmolytischen Experimente an den in sehr schwachen Salzlösungen (0,003 %—0,01 % Aluminiumsalz) permeabel gewordenen Objekten hohe Konzentrationen (bis zu 1 Mol) angewendet wurden.

Hamburger (pag. 44) hat auch an Blutkörperchen Vergrößerung der Permeabilität festgestellt. Rote Blutkörperchen verlieren ihren Farbstoff in einer hyposmotischen Lösung von 0,66 % Kochsalz. Versetzt man 180 ccm Blut mit 10 ccm $^1/_{10}$ normal HCl, so genügt eine Lösung von 0,68 % NaCl, um den Farbstoff herauszutreiben. Die Blutkörperchen werden also durch Zusatz von Salzsäure permeabeler für das Hämoglobin.

Eine Erklärung für die infolge Einwirkung der Aluminiumsalze eintretenden Änderungen in der Permeabilität abzugeben, könnte auch unter ausführlichster Berücksichtigung der verschiedenen Ansichten über den physikalischen bzw. chemischen Aufbau des Protoplasmas und speziell der Plasmahaut nur ein Versuch sein, der über die Ziele dieser Arbeit hinausginge. Es mag jedoch gestattet sein, in Kürze auf die verschiedenen Möglichkeiten hinzuweisen.

Man hat früher mit M. Traube angenommen, daß die semipermeablen Niederschlagsmembranen und die Plasmahäute mit Molekülsieben verglichen werden dürfen und deshalb die verschiedene Permeabilität differenter Membranen auf die Unterschiede in der Porenweite zurückgeführt. Nachdem aber festgestellt war, daß eine Plasmahaut für Verbindungen mit großen Molekülen durchlässig, für solche mit kleinen Molekülen impermeabel sein kann, hat man diese Theorie von den Interstitien in einem Maschenwerk fallen gelassen.

Wollte man, diese Ansicht beibehaltend, annehmen, daß die Maschenweite veränderlich sei (Pfeffer II, pag. 328 und IV, pag. 281), so würde man nicht weiter als zu der petitio principii, daß die Aluminiumsalze diese Veränderlichkeit erhöhen, kommen.

Overton (III, pag. 88) geht in seiner Theorie über die Osmose von einem Versuch von Nernst (I, pag. 37) aus, der als Prototyp für die Osmose betrachtet wird und deshalb hier kurz erwähnt sei. Nernst trennt Benzol in Äther gelöst und Äther durch eine Wassermembran. Nach kurzer Zeit wandert der Äther in den Benzoläther: Die Membran ist für Äther durchlässig infolge seiner schwachen Löslichkeit in Wasser, für Benzol aber semipermeabel. Die Permeabilität ist also nicht durch die Porosität der Membran bedingt, sondern durch die Löslichkeit des permeierenden Stoffes in dem Material der Membran.

Overton hat nun noch festgestellt, daß im allgemeinen die Substanzen um so schneller durch die Membran wandern, je löslicher sie in den sogenannten Lipoiden, wie Cholesterin, Lezithin usw. sind. Da außerdem diese Stoffe sich allgemein in allen Zellen vorfinden, so denkt er sich die Plasmahaut aus diesen Lipoiden aufgebaut und stellt die Theorie auf, daß die Geschwindigkeit der Osmose abhänge von der Größe des Verteilungskoeffizienten der permeierenden Substanz zwischen den Lipoiden und dem Wasser, wobei der Verteilungskoeffizient nach Nernst (II, pag. 455) das konstante Verhältnis darstellt, in welchem sich ein Stoff bei bestimmter Temperatur unabhängig von seiner Menge auf zwei Lösungsmittel (Lipoiden und Wasser) verteilt. Overton nimmt also an, daß der permeierende Stoff zunächst in der Lipoid-

schicht der Plasmahaut mit einer dem Verteilungskoeffizienten proportionalen Geschwindigkeit gelöst und hierauf von der Plasmamembran an das Zellinnere abgegeben werde.

Es folgt aus dieser Darstellung, daß wir einen kaum zu erklärenden Einfluß der Aluminiumsalze auf die Lipoidsubstanzen annehmen müßten, um unsere Ergebnisse betreffs Permeabilität in Übereinstimmung mit Overton zu bringen.

Eher könnte die Nathansohnsche Theorie, wonach die Interstitien zwischen den lebenden Protoplasmateilchen von einer fettartigen Substanz angefüllt sind, eine Erklärung unserer Versuchsresultate zulassen, sofern man das Wirkungsfeld der Aluminiumsalze in den protoplasmatischen Teil des Nathansohnschen Mosaiks verlegen dürfte; denn es wird wohl bei der Herstellung der Permeabilität durch die Aluminiumsalze eher eine Metamorphose der Eiweißkörper als der Lipoidsubstanzen in Betracht kommen.

Es scheint mir jedoch ersprießlicher, an eine Hypothese von Alfred Fischer (I, pag. 287) über die Impermeabilität der Hautschicht für gewisse Stoffe anzuknüpfen.

A. Fischer weist auf das Absorptionsvermögen der Eiweißkörper hin und legt seiner Auffassung die Beobachtung zugrunde, daß „Granula aus Albumose und aus Nukleinsäure gewisse Stoffe, z. B. die Mineralsalze, sicher nur sehr wenig absorbieren, während Anilinfarben bis zu tiefster Färbung absorbiert werden“. Er spricht nun seine Ansicht folgendermaßen aus: „Die stark gequollene zähflüssige Hautschicht würde allgemein weniger, vielleicht viel weniger absorbieren als die festgefügten Granula, aber es würde das Absorbtionsvermögen für die verschiedenen Substanzen doch wahrscheinlich gleichsinnig abnehmen. Salze würden mehr abgesperrt sein als Anilinfarben.“

Nehmen wir nun im Anschluß an Fischers Hypothese an, daß gefällte Eiweißkörper größeres Absorptionsvermögen besitzen wie gelöste, und berücksichtigen wir außerdem, daß sämtliche lösliche Aluminiumsalze eiweißartige Stoffe zu fällen vermögen (Schmiedeberg pag. 463), so können wir die von uns festgestellten Wirkungen der Aluminiumsalze zurückführen auf eine Steigerung des Absorptionsvermögens der Eiweißstoffe des Protoplasmas. Diese Steigerung muß so weit fortschreiten, daß auch diejenigen Stoffe, die normalerweise schwach oder gar nicht absorbiert werden, nach der Aluminiumbehandlung verhältnismäßig rasch durch die Hautschicht einwandern.

Bei der Wiederherstellung der Impermeabilität müssen dieser Annahme entsprechend die gefällten Eiweißkörper wieder gelöst und dadurch die Absorption heruntergedrückt werden.

Diese Vorstellung von der Wirkung der Aluminiumsalze auf das Protoplasma erinnert uns an die eigentümliche Rolle, welche die Tonerde beim Beizen in der Färberei spielt. Bei diesem Prozeß wird auf dem Textilstoff möglichst dauerhaft ein Körper fixiert, der die Fähigkeit hat, sich mit einem nachher zu verwendenden Farbstoff zu verbinden und denselben gleichzeitig im unlöslichen Zustande auf der Faser niederzuschlagen. Diesem Zweck dienen bekanntlich verschiedene metallische Salze, vorzüglich die Tonerdebeizen (Hummel-Knecht pag. 113).

Trotzdem der Beizprozeß noch nicht vollständig seines Schleiers beraubt ist, so ist doch klar, daß den Aluminiumsalzen beim Eindringen der Farbstoffe in die Gespinstfasern eine Art Führerrolle zukommt. Da auch bei unseren früher geschilderten Versuchen die Aluminiumsalze für diverse Stoffe einen Weg in das Protoplasma gebahnt haben, so scheint in der Entstehung der Permeabilität eine Analogie zu dem Beizprozeß vorzuliegen. Es muß da allerdings beigefügt werden, daß ich mit den als Beizen oft gebrauchten Verbindungen Kalialaun und Brechweinstein keine Permeabilität erreichen konnte.

Nach der Theorie über Osmose von J. Traube (pag. 547) müßte durch die Aluminiumsalze die Oberflächenspannung der Protoplasmastoffe erhöht werden.

Das Aluminium zählt auch zu den katalytisch wirksamen Körpern, und zwar vermag das Aluminiumchlorid, wie Roland (pag. 1173) mitteilt, die Geschwindigkeit anorganischer wie organischer Reaktionen zu ändern. Bei einigen Vorgängen beruht diese katalytische Beeinflussung voraussichtlich auf Änderungen der Löslichkeit der an der Reaktion teilnehmenden Stoffe. Für andere Prozesse wird als Ursache der katalytischen Wirkung das Eintreten von Zwischenreaktionen, die Entstehung von Zwischenprodukten des Aluminiumchlorids mit den betreffenden Verbindungen, angenommen. Ob bei der Permeabilitätsänderung des Protoplasmas Katalyse auftritt, kann an dieser Stelle nicht entschieden werden. Es sei hiermit bloß auf die Möglichkeit einer katalytischen Wirkung hingewiesen.

Die Tatsache, daß es gleichgültig ist, ob man das Aluminium als Sulfat, Nitrat, Chlorid usw. anwendet, darf nicht überraschen, da die Base wegen der beträchtlichen Verdünnung der Salze als freies Kation vorkommt und somit ihre spezifische Wirkung ausüben kann.

Zusammenfassung.

1. Verschiedene Aluminiumsalze (Al sulfuricum, Al nitricum, Al chloratum und Al bichromicum), ferner Yttrium nitricum und Lanthan nitricum bewirken im Licht an Spirogyra, Elodea canadensis und Lemna trisulca Entstärkung bezw. Stärkeabnahme.

2. Während dieses Vorganges tritt eine Hemmung der Assimilation ein. Der Assimilationsprozeß wird aber während der Entstärkung nicht sistiert.

3. Unter dem Einfluß der erwähnten Verbindungen werden die Zellen der Spirogyra, Elodea canadensis, Lemna trisulca und der Wurzelhaare von Hydrocharis morsus ranae und Trianea bogotensis permeabel für die bei der Plasmolyse gewöhnlich verwendeten Stoffe. Die plasmolytischen Agentien treten in das Protoplasma über und vermögen daher keine Kontraktion hervorzurufen. Das Protoplasma wird jedoch nicht gleichzeitig extrameabel für diejenigen Stoffe, welche die Turgeszenz verursachen.

4. Der direkte Nachweis der eingedrungenen Substanzen mittels einer chemischen Reaktion ist nicht möglich, weil nur sehr wenig Stoff in die Zelle übergeht und dieser zudem bei Zusatz des Reagens teilweise wieder hinauswandert, so daß die absolute Menge des nachzuweisenden Stoffes zu klein ist, um eine sichtbare Reaktion zu erzeugen.

5. Die Protoplasmaströmung hört in dem permeablen Protoplast nicht auf, die Strömungsgeschwindigkeit nimmt nur um einen kleinen Betrag ab.

6. Mischt man die Aluminiumsalze mit Traubenzucker, Glyzerin oder Isodulcit, so wird ihr Einfluß annuliert; diese antagonistische Wirkung fehlt bei Kalisalpeter und Chlornatrium.

7. Die Impermeabilität der Zelle kann mit Leichtigkeit wieder hergestellt werden.

8. Die Entstärkung beruht wesentlich auf der Permeabilität. Der Zucker wird ausgewaschen und kann daher nicht mehr zur Bildung von Stärke herangezogen werden. — Vielleicht wird gleichzeitig durch die Aluminiumsalze die Wirkung der Diastase gefördert. Es mag auch die Hemmung der Assimilation ihr Teil zu der Entstärkung beitragen.

9. Die Entstehung der Permeabilität kann auf verschiedene Vorgänge zurückgeführt werden, unter denen die folgenden zwei die größte Wahrscheinlichkeit für sich haben:

a) Die Aluminiumsalze fällen die Eiweißkörper in der Hautschicht; dadurch wird das Absorptionsvermögen der Grenzfläche derart gesteigert, daß nun die Stoffe zu permeieren vermögen.

b) Die bei der Entstehung der Permeabilität auftretende Wirkung der Aluminiumsalze kann auch als Analogon zum Beizprozeß aufgefaßt werden.

Literatur.

1) M. Busch u. Gust. Mehrtens, Über Endiminotriazole. Berichte der Deutsch. Chem. Gesellsch. 1905, Nr. 17.

2) Deutsches Bäderbuch. Bearbeitet unter Mitwirkung des Kaiserl. Gesundheitsamtes 1907.

3) Effront, J., Die Diastasen und ihre Rolle in der Praxis. 1900.

4) Ewart, A. J., On the phisics and physiology of protoplasmic streaming in plants. 1903.

5) Fischer, A., I. Fixierung, Färbung und Bau des Protoplasmas. 1899.
II. Vorlesungen über Bakterien. 1903.

6) Green, J. R., Die Enzyme. Ins Deutsche übersetzt von Windisch.

7) Hamburger, Über den Einfluß geringer Quantitäten Säure und Alkali auf das Volumen der roten und weißen Blutkörperchen. Engelmanns Archiv für Physiologie. 1898.

8) Höber, R., Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe. 1906.

9) Hummel-Knecht, Färberei und Bleicherei der Gespinstfasern. 1891.

10) Janse, J., Die Permeabilität des Protoplasma. Verslagen en Mededeelingen der Koninklyke Akademie van Wetenschappen, Natuurkunde. Deerde Reeks. Vierde Deel.

11) Klebs, G., I. Beiträge zur Physiologie der Pflanzenzellen. Ber. d. Deutschen Bot. Gesellsch. 1887, Bd. V.
II. Über Organisation der Gallerte bei einigen Algen und Flagellaten. Untersuchungen a. d. Botan. Institut zu Tübingen, 2 Bde., 1886—1888.

12) Langworthy and Austen, The occurence of aluminium in vegetable products, animal products and natural waters. London 1904.

13) Nathanson, Über Regulation der Aufnahme anorganischer Salze etc. Pringsheim, Bd. XXXIX, 1904.

14) Nernst, I. Zeitschr. f. physik. Chemie 1890, Bd. VI.
II. Theoretische Chemie. 2. Auflage.

15) Overton, I. Studium über Narkose, zugleich ein Beitrag zur allgemeinen Pharmakologie. Jena 1901.
II. Über die osmotischen Eigenschaften der Zelle in ihrer Bedeutung für die Toxikologie und Pharmakologie. Zeitschr. f. physik. Chemie 1897, Bd. XXII.

III. Über die allgemeinen osmotischen Eigenschaften der Zelle, ihre vermutlichen Ursachen und ihre Bedeutung für die Physiologie. Vierteljahrsschr. v. Zürich 1899, Bd. XLIV.

16) Paal u. Mehrtens, Gravimetrische Bestimmung des Salpeters im Fleisch. Zeitschr. f. Untersuchung der Nahrungs- u. Genußmittel 1906, Bd. II.

17) Pfeffer, I. Physiologie I. 1897.
II. Über Aufnahme von Anilinfarben in lebende Zellen. Tübinger Untersuchungen 1886, Bd. II.
III. Osmotische Untersuchungen. 1877.
IV. Zur Kenntnis der Plasmahaut und der Vakuolen, nebst Bemerkungen über den Aggregatzustand des Protoplasmas und über osmotische Vorgänge. Abhandlungen d. Königl. Sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften 1890, Bd. XVI.

18) Radlkofer, L., Über Tonerdekörper im Pflanzenreich. Berichte d. Deutsch. Bot. Gesellsch. 1904, Bd. XXVII.

19) Roland, Über die katalytische Wirkung des Aluminiumchlorids. Chemiker-Zeitung 1906, Nr. 2.

20) Rothert, W., Das Verhalten der Pflanzen gegenüber dem Aluminium. Botan. Zeitung 1906.

21) Schmiedeberg, O., Grundriß der Pharmakologie. 1902.

22) Traube, J., Theorie der Osmose und Narkose. Pflügers Archiv für Physiol., 1904, Bd. CV.

23) de Vries, H., Plasmolytische Studien über die Wand der Vakuolen. Pringsheim, Bd. XVI.

24) Wolf, Aschenanalysen. 1871.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: 99

Autor(en)/Author(s): Fluri Max

Artikel/Article: Der Einfluß von Aluminiumsalzen auf das Protoplasma 81-126